

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KURAKLIĞIN KIZILIRMAK HAVZASINA AİT
YERÜSTÜ VE YERALTI SU KAYNAKLARINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Necmiye MİNARECİOĞLU**

**Danışman
Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU**

Doktora Tezi

**Ağustos 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KURAKLIĞIN KIZILIRMAK HAVZASINA AİT
YERÜSTÜ VE YERALTI SU KAYNAKLARINA
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Doktora Tezi)

**Hazırlayan
Necmiye MİNARECİOĞLU**

**Danışman
Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU**

**Ağustos 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Necmiye MİNARECİOĞLU

İmza

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Kuraklığın Kızılırmak Havzasına Ait Yerüstü ve Yeraltı Su Kaynaklarına Etkisinin Araştırılması ” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Necmiye MİNARECİOĞLU

İmza

Danışman

Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU

İmza

İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A. Alper ÖNER

İmza

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, yol gösteren ve farklı bakış açılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamasında çalışmalarım süresince fikir ve görüşleri ile bana yön veren, katkıda bulunan ve destekleyen lisans eğitimimden itibaren eğitim sürecime büyük katkısı olan Prof. Dr. Tefaruk Haktanır'a, Çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübesiyle her türlü desteği veren Prof. Dr. Oktay ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında beni sabırla destekleyen ve yanımda olduğunu bana hissettiren Eşim Adnan MİNARECİOĞLU'na ve moral verip küçük yaşına rağmen hep destekçim olan kızım Şevval MİNARECİOĞLU'na teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım sırasında kendi tecrübelerini benimle paylaşan ve manevi anlamda çok desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım Doç. Dr. Emine Babur ŞAŞ'a teşekkür ederim.

Bugün yanımda olmasa da desteğini hep hissettiğim ilham kaynağım olan rahmetli anneciğim Hikmet NAS'a bugüne kadar kattığım yollarda verdiği emek için hep minnettar olacağım.

Necmiye MİNARECİOĞLU

Ağustos, 2021, KAYSERİ

KURAKLIĞIN KIZILIRMAK HAVZASINA AİT YERÜSTÜ VE YERALTI SU KAYNAKLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Necmiye MİNARECİOĞLU

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Ağustos 2021
Danışman: Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU**

ÖZET

Bu tez çalışmasında kuraklığın Kızılırmak havzasında yağış, akış ve yeraltı suyu değişkenlerine etkisinin araştırılması ve havzada bu değişkenlere ait eğilimlerin ve kuraklık seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konu alınmıştır.

Bu amaçla öncelikle konu ile ilgili geniş bir literatür çalışması yapılmış ve kuraklığın üzerindeki olası etkisi nedeniyle iklim değişikliğine de yer verilmiştir. Aynı başlık altında daha sonra yine güncel literatür ışığında kuraklık tanımlanmış ve kuraklık çeşitleri/sebeplerine ilişkin literatür detaylı bir şekilde ve kritik edilerek sunulmuştur. İkinci bölümde yöntembilim (metodoloji) ve çalışma alanı ve veriler hakkında geniş bilgiler verilmiştir. Bu amaçla aynı bölümde hem homojenlik ve durağanlık testleri, hem de indislerin belirlenmesi ve gidiş (trend) analizleri için kullanılan yöntemlere geniş yer verilmiştir. Homojenliğin belirlenmesi için Von-Neumann, Pettitt ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon olmak üzere üç farklı test yöntemi kullanılmıştır. Durağanlığın belirlenmesi için de Genişletilmiş Dickey-Fuller, Phillips-Perron ve KPSS testleri uygulanmıştır. Mann-Kendall, Modifiye Mann-Kendall, Spearman (Rho), Lineer Regresyon ve Yenilikçi Şen Eğilim Çözümlemesi olmak üzere beş farklı yöntem de gidiş analizi için kullanılmış ve sonuçları bir sonraki bölümde, “bulgular” başlığı altında paylaşılmıştır. Böylece trend analizleri ile meteorolojik ve hidrolojik verilerin eğilimleri tespit edilmiş ve değişim noktaları belirlenmiştir.

Indislerin belirlenmesine yağış indisi için Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), yağış ve potansiyel evapotranspirasyon için Keşif Kuraklık İndisi (RDI), akışlar için Standartlaştırılmış Akış İndisi (SDI), yeraltı suları için Standartlaştırılmış Yeraltı Suyu İndisi (SGI) yöntemleri kullanılmış ve indisler belirlenmiştir. SPI, RDI, SDI ve SGI indislerinin belirlenmesi için kullanılan veriler, 20 meteorolojik ve 18 akım gözlem istasyonu ile 23 yeraltı su kuyusu olmak üzere toplam 61 istasyondan alınmıştır. SPI ve

SGI analizlerinde 12 farklı periyotta (1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 aylık) ve SDI ve RDI analizlerinde 5 farklı periyotta (1, 3, 6, 9, 12 aylık) kuraklık analizi yapılmıştır.

Tez kapsamında yapılan bu çalışmada sonuç olarak kuraklığın, Kızılırmak havzasında yağış, akış ve yeraltı suyu değişkenlerine etkisinin büyük ve bu etkinin genel olarak yağış, akış ve yer altı suyunda azalma yönünde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kurak dönemlerde yer yer geçişler izlenmiş ve olumsuz iklimsel etkilerin özellikle 2000 yılı ve sonrası dönemde daha şiddetli ve uzun süreli olduğu tespit edilmiştir. Periyotların zamanla daha sık ve uzun süreli olması küresel boyuttaki iklim değişikliğinin etkisi olarak değerlendirilmiş (mütalaa edilmiş) ve bu değerlendirme neticesinde bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık analizi, SPI, SDI, RDI, SGI, Kızılırmak havzası, Trend analizi, Gidişler analizi

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DROUGHT ON SURFACE AND GROUND WATER RESOURCES OF THE KIZILIRMAK BASIN

Necmiye MİNARECİOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, August 2021

Supervisor: As. Prof. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU

ABSTRACT

In this thesis, researching the effects of climate change on precipitation, flow and groundwater parameters in Kızılırmak basin and evaluating trends and drought levels of these parameters in the basin are discussed. Trends of meteorological, hydrological data and change points were determined.

For this purpose, first, a large literature study on the subject was made and climate change was also included due to its possible impact on drought. Under the same title, drought was defined in the light of current literature and the literature on drought types/causes was presented in detail and critically. In the second part, extensive information about methodology and study area and data is given. For this purpose, in the same section, the methods used for homogeneity and stationarity tests, as well as for determination of indices and trend analysis are given extensively. Three different test methods, namely Von-Neumann, Pettitt and Mann-Kendall Order Correlation, were used to determine homogeneity. Extended Dickey-Fuller, Phillips-Perron and KPSS tests were applied to determine the stationarity. Five different methods, namely Mann-Kendall, Modified Mann-Kendall, Spearman (Rho), Linear Regression, and Innovative Shen Tendency Analysis, were also used for trend analysis, and the results are shared under the "results" heading in the next section. Thus, the trends of meteorological and hydrological data were determined by trend analysis and the change points were determined.

In drought studies, drought in precipitation was determined using Standardized Precipitation Index (SPI), in precipitation and potential evapotranspiration drought Reconnaissance Drought Index (RDI), drought in flows Streamflow Drought Index (SDI), drought in groundwater Standardized Groundwater Index (SGI) methods. In the study conducted with SPI, RDI, SDI and SGI indices, data from 20 meteorological

observation stations, 18 flow monitoring stations and 23 groundwater wells were used. Drought analysis was performed in 12 different periods (1,3,6,9,12,18,24,30,36,48,60 months) in SPI and SGI and in 5 different periods (1,3,6,9,12 months) in SDI and RDI. According to the evaluations, it has been determined that drought is observed with decreases in flows and groundwater and transition to dry periods in periods when rainfall decreases, and adverse climatic effects are more severe and long-term effective especially in 2000 and after.

Keywords: Drought analysis, SPI, SDI, RDI, SGI, Kızılırmak basin, Trend analysis, Runs analysis.



İÇİNDEKİLER

KURAKLIĞIN KIZILIRMAK HAVZASINA AİT YERÜSTÜ VE YERALTI SU KAYNAKLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR	xv
TABLolar LİSTESİ	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xx
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. İklim	4
1.2. İklim Değişikliği	5
1.3. İklim Değişikliğinin Etkileri	9
1.4. İklim Değişikliğinin Okyanus, Deniz Seviyeleri Ve Buzullar Üzerine Etkisi	11
1.4.1. İklim Değişikliğinin Yağışlar Üzerine Etkisi	12
1.4.2. İklim Değişikliğinin Toprak Nemi Ve Yeraltı Su Kaynaklarına Etkisi	14
1.4.3. İklim Değişikliğinin Nehir Akışlarına Etkisi	16
1.4.4. İklim Değişikliğinin Su kaynaklarına Beklenen Etkileri	17
1.5. İklim Değişikliğinin Türkiye’de Beklenen Etkileri	18
1.6. Kuraklık	21
1.6.1. Kuraklığın Sınıflandırılması	23
1.6.2. Etkilediği Alana Göre Kuraklık	23

1.6.2.1. Meteorolojik Kuraklık	24
1.6.2.2. Tarımsal Kuraklık	25
1.6.2.3. Hidrolojik Kuraklık	25
1.6.2.4. Sosyo-ekonomik Kuraklık	26
1.6.3. Etkileme sürelerine Göre Kuraklık.....	26
1.6.3.1. Kısa Vadeli Kuraklıklar	26
1.6.3.2. Uzun Vadeli Kuraklıklar	27
1.6.4. Kuraklığın Etkileri	27
1.6.5. Kuraklık İndisleri	28
1.6.5.1. Meteorolojik Kuraklık İndisleri.....	29
1.6.5.2. Tarımsal Kuraklık İndisleri.....	30
1.6.5.3. Hidrolojik Kuraklık İndisleri	31
1.6.6. Yaygın Olarak Kullanılan Kuraklık İndisleri.....	32
1.6.6.1. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (Palmer Drought Severity Index-PDSI).....	32
1.6.6.2. Efektif Kuraklık İndisi (Effective Drought Index-EDI)	33
1.6.6.3. Yüzey Suyu Tedarik İndisi (Surface Water Supply Index-SWSI).....	34
1.6.6.4. Standart Yağış ve Potansiyel Buharlaşma İndisi (The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)- SPEI	34
1.6.6.5. Yağış Kuyrukları-Deciles.....	35
1.6.6.6. Standart Yüzeysel Akış İndisi (The Standardized Runoff Index-SRI)	35
1.7. Kuraklık Üzerine Yapılan Çalışmalar	36

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem	57
2.1.1. Homojenlik Analizi.....	57
2.1.2. Durağanlık Analizi.....	58
2.1.2.1. Genişletilmiş Dickey-Fuller Testi (ADF)	58
2.1.2.2. Phillips-Perron Testi (PP)	59

2.1.2.3. KPSS testi	60
2.1.3. Trend Analizi	61
2.1.3.1. Mann-Kendall Trend Testi (MK).....	61
2.1.3.2. Modifiye edilmiş Mann-Kendall trend testi (Hamed-MK)	63
2.1.3.3. Spearman'ın Rho trend testi (SRHO)	63
2.1.3.4. Lineer Regresyon testi (LR).....	64
2.1.3.5. Yenilikçi Şen Eğilim Çözümlemesi(İNVŞEN).....	64
2.1.3.6. Pettitt Testi	64
2.1.3.7. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi (MKMK)	65
2.1.4. Kuraklık Analizi	67
2.1.4.1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (Standardized Precipitation Index-SPI)	67
2.1.4.2. Keşif Kuraklık İndisi (Reconnaissance Drought Index-RDI).....	69
2.1.4.3. Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (Streamflow Drought Index-SDI)	71
2.1.4.4. Standartlaştırılmış Yeraltı suyu İndisi (Standardized Groundwater Index- SGI).....	73
2.1.5. Gidişler Analizi	73
2.2. Çalışma Alanı	75
2.3. Materyal.....	77

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Verilerde Homojenlik ve Durağanlık Analizleri.....	80
3.1.1. Aylık Toplam Buharlaşıma Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları	80
3.1.2. Ortalama Yağış Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları.....	80
3.1.3. Maksimum Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları.....	81

3.1.4. Minimum Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları.....	81
3.1.5. Ortalama Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları.....	81
3.1.6. Ortalama Rüzgâr Hızı Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları.....	81
3.2. Kızılırmak Havzasında Akım Gözlem ve Yeraltı Su Seviye Ölçümlerinde Homojenlik ve Durağanlık Analizleri	82
3.3. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Veriler ile Akım Gözlem Ve Yeraltı Suyu Seviye Ölçümlerinde Trend Analizi	82
3.3.1. Aylık Toplam Buharlaşma Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	83
3.3.2. Aylık Ortalama Yağış Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	85
3.3.3. Aylık Maksimum Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	88
3.3.4. Aylık Minimum Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi	90
3.3.5. Aylık Ortalama Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	92
3.3.6. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	92
3.3.7. Aylık Ortalama Akım Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	94
3.3.8. Aylık Yeraltı Suyu Seviyeleri Zaman Serilerinde Trend Analizi.....	97
3.4. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Veriler ile Akım Gözlem ve Yeraltı Suyu Seviye Ölçümlerinde Değişim Noktası Analizi	100
3.5. Kızılırmak Havzasında Kurak Dönemlerin Kuraklık İndisleri ile Belirlenmesi.....	117
3.5.1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) Kızılırmak Havzası Uygulamaları.....	117
3.5.2. Standart Yağış İndisi için Gidişler analizi.....	136
3.5.3. Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (SDI)	142
3.5.4. Keşif Kuraklık İndisi (RDI)	151
3.5.5. Standartlandırılmış Yeraltı Suyu İndisi (SGI).....	160
3.5.6. Standart Yağış İndisi(SPI) İle Standart Yeraltı Suyu İndisi(SGI) Arasındaki Uyum.....	172
3.5.7. Keşif Kuraklık İndisi(RDI) İle Yüzey Akışı Kuraklık İndisi(SGI) Arasındaki Uyum.....	180
3.5.8. Kuraklık Analizlerinde Trend Analizi ve Değişim Noktası Testi.....	185

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	193
KAYNAKÇA	195
EKLER.....	212
ÖZGEÇMİŞ.....	227



KISALTMALAR

ADF	: Ge nişletilmiş Dickey-Fuller Testi
AHP	: Tarımsal-Hidropotansiyel İndisi
BMÇSS	: Birleşmiş Milletler Çölleşme Savaşım Sözleşmesi
BMDI	: Bhalme-Mooley Kuraklık İndisi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CMI	: Mahsul Nem İndisi
CPA	: Kümülatif Yağış Anomalisi
CZI	: Çin Z indeksi
EKI	: Efektif Kuraklık İndeksi
EP	: Efektif Yağış
ET₀	: Potansiyel buharlaşma
GCMs	: Genel Dolaşım Modelleri
GWT	: Yeraltı Suyu Tablası
I	: Kuraklık şiddeti
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
İDÇS	: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
İNVŞEN	: Yenilikçi Şen Eğilim Çözümlemesi
KPSS	: Kwiatkowski-Phillips- Schmidt ve Shin Durağanlık testi
KS	: Kesim Seviyesi
L	: Kuraklık süresi
LR	: Lineer Regresyon
M	: Kuraklığın Genliği
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MK	: Mann Kendall trend testi
MKMK	: Mann-Kendall mertebe korelasyon metodu
NDVI	: Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndisi
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi

PET	: Potansiyel Evapotranspirasyon
PM	: Penmann-Monteith
PT	: Pettitt testi
RDI	: Keşif Kuraklık İndisi
SDI	: Standart Akış indisi
SGI	: Standart Yeraltı Suyu İndisi
SMAI	: Toprak Nemi Anomali İndisi
SPEI	: Standart Yağış ve Potansiyel Buharlaşma İndisi
SPI	: Standart Yağış İndisi
SRHO	: Spearman'ın Rho trend testi
SRI	: Standart Yüzeysel Akış İndisi
SWSI	: Yüzey Suyu Tedarik İndisi
UNCED	: Çevre ve Kalkınma Konferansı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VN	: Von-Neumann Homojenlik testi
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık toplam buharlaşma serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları.....	84
Tablo 3.2.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama yağış serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları	86
Tablo 3.3.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık maksimum sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları	88
Tablo 3.4.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık minimum sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları.....	90
Tablo 3.5.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları.....	92
Tablo 3.6.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık Rüzgâr hızı serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları	93
Tablo 3.7.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama akım serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları	95
Tablo 3.8.	Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları.....	98
Tablo 3.9.	Kızılırmak havzasına ait aylık ortalama buharlaşma zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları.....	101
Tablo 3.10.	Kızılırmak havzasına ait aylık maksimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları	102
Tablo 3.11.	Kızılırmak havzasına ait aylık minimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) testine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları.....	104

Tablo 3.12. Kızılırmak havzasına ait aylık yağış zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları	106
Tablo 3.13. Kızılırmak havzasına ait aylık rüzgâr hızı zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları	107
Tablo 3.14. Kızılırmak havzasına ait aylık akım serilerinin Pettitt testine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları ve yakın istasyonlar	108
Tablo 3.15. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Pettitt testi eğilimleri ve değişim noktası sonuçları	110
Tablo 3.16. Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonlarının eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları	113
Tablo 3.17. Kızılırmak havzasına ait akım gözlem istasyonlarının eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları	114
Tablo 3.18. Kızılırmak havzasına ait yeraltı suyu seviyelerinin eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları	116
Tablo 3.19. Kırşehir için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler	137
Tablo 3.20. Kayseri için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler	139
Tablo 3.21. Nevşehir için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler	140
Tablo 3.22. Kırıkkale için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler	142
Tablo 3.23. Kızılırmak havzasında yer alan bazı istasyonların farklı kesim seviyelerinde korelasyon değerleri	142
Tablo 3. 24. Kızılırmak havzasına ait SPI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları	185
Tablo 3.25. Kızılırmak havzasına ait SDI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları	187
Tablo 3.26. Kızılırmak havzasına ait SGI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları	189

Ek Tablo 1. Aylık Toplam Buharlaşma ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları.....	212
Ek Tablo 2. Ortalama Yağış ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları	213
Ek Tablo 3. Maksimum sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları	214
Ek Tablo 4. Minimum sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları	215
Ek Tablo 5. Ortalama sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları	216
Ek Tablo 6. Ortalama Rüzgâr Hızı ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları	217
Ek Tablo 7. Ortalama Akım ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları.....	218
Ek Tablo 8. Aylık Yeraltı Suyu Seviye Ölçümleri ADF-KPSS ve Von-Neumann Testi Sonuçları	219
Ek Tablo 9. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık toplam buharlaşma serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine(İNVşEN) göre eğilim sonuçları.....	220
Ek Tablo 10. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama yağış serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları.....	220
Ek Tablo 11. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık maksimum sıcaklık serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları	221
Ek Tablo 12. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık minimum sıcaklık serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları.....	222
Ek Tablo 13. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama Rüzgâr hızı serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları	224
Ek Tablo 14. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama Akım serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları.....	225
Ek Tablo 15. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Yenilikçi şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları.....	226

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Sera Etkisi	6
Şekil 1.2.	Kasım 2016 Keeling Eğrisi.....	7
Şekil 1.3.	1850-2012 arasında yıllık periyotlarda izlenen, küresel bazda ortalaması alınmış, kara ve okyanus yüzey sıcaklığı.....	10
Şekil 1.4.	1901-2012 ortalama yüzey sıcaklıklarında izlenmiş değişimler.....	11
Şekil 1.5.	Etki alanlarına göre kuraklık.....	24
Şekil 2.1.	Gidişler analizinde kurak ve sulak gidişler.....	74
Şekil 2.2.	Kızılırmak havzası fiziki görünüm ve istasyonlar	75
Şekil 3.1.	Kızılırmak Havzası aylık toplam buharlaşma serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	85
Şekil 3.2.	Kızılırmak Havzası aylık ortalama yağış serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	87
Şekil 3.3.	Kızılırmak Havzası aylık ortalama yağış serisi için eğilimlerin havzada dağılımları.....	87
Şekil 3.4.	Kızılırmak Havzası aylık maksimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	89
Şekil 3.5.	Kızılırmak Havzası aylık maksimum sıcaklık serisi için eğilimlerin havzada dağılımları.....	89
Şekil 3.6.	Kızılırmak Havzası aylık minimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	91
Şekil 3.7.	Kızılırmak Havzası aylık minimum sıcaklık serisi için eğilimlerin havzada dağılımları.....	91
Şekil 3.8.	Kızılırmak Havzası aylık ortalama sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	92
Şekil 3.9.	Kızılırmak Havzası aylık ortalama rüzgâr hızı serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	94
Şekil 3.10.	Kızılırmak Havzası aylık ortalama akım serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	96
Şekil 3.11.	Kızılırmak Havzası aylık akım serisi için eğilimlerin havzada dağılımları.....	97

Şekil 3.12.	Kızılırmak Havzası aylık yeraltı suyu seviye serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri.....	99
Şekil 3.13.	Kızılırmak Havzası aylık yeraltı suyu seviye serisi için eğilimlerin havzada dağılımları.....	100
Şekil 3.14.	Kızılırmak havzasına ait aylık buharlaşma zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları	101
Şekil 3.15.	Kızılırmak havzasına ait aylık maksimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları	103
Şekil 3.16.	Kızılırmak havzasına ait aylık minimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları	105
Şekil 3.17.	Kızılırmak havzasına ait aylık yağış zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları.....	106
Şekil 3.18.	Kızılırmak havzasına ait aylık rüzgâr hızı zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları	108
Şekil 3.19.	Kızılırmak havzasına ait aylık akım serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları	109
Şekil 3.20.	Kızılırmak havzasına ait yeraltı suyu seviye serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları.....	111
Şekil 3.21.	Kırşehir istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları.....	119
Şekil 3.22.	Kayseri istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları	121
Şekil 3.23.	Kaman istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları	123
Şekil 3.24.	Nevşehir istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları	125
Şekil 3.25.	Kırıkkale istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları....	127
Şekil 3.26.	Yozgat istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları	129
Şekil 3.27.	Çiçekdağı istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları ..	131
Şekil 3.28.	Kastamonu istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları.....	133

Şekil 3.29.	Kırşehir istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri.....	136
Şekil 3.30.	Kayseri istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri.....	138
Şekil 3.31.	Nevşehir istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri....	139
Şekil 3.32.	Kırıkkale istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri...	141
Şekil 3.33.	15-01 istasyonuna ait 3 aylık SDI analizi sonuçları	143
Şekil 3.34.	15-01 istasyonuna ait 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	144
Şekil 3.35.	15-03 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	145
Şekil 3.36.	15-17 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	146
Şekil 3.37.	15-32 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	147
Şekil 3.38.	15-38 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	148
Şekil 3.39.	15-39 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	149
Şekil 3.40.	15-108 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları.....	150
Şekil 3.41.	Kırşehir istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	152
Şekil 3.42.	Kayseri istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	153
Şekil 3.43.	Nevşehir istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	154
Şekil 3.44.	Keskin istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	155
Şekil 3.45.	Kaman istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	156
Şekil 3.46.	Boğazlıyan istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	157
Şekil 3.47.	Kastamonu istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	158
Şekil 3.48.	Sivas istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları	159
Şekil 3.49.	Develi-54158 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	161
Şekil 3.50.	Develi-54159-1 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	162
Şekil 3.51.	Develi-54159 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	163
Şekil 3.52.	Develi-54160 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	164
Şekil 3.53.	Develi-54160 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	165
Şekil 3.54.	Develi-54161 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	166
Şekil 3.55.	Develi-54162 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları	167
Şekil 3.56.	Kırşehir-49734 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	168
Şekil 3.57.	Kırşehir-53215 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	169

Şekil 3.58.	Boğazlıyan-59666 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	170
Şekil 3.59.	Boğazlıyan-59667 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	171
Şekil 3.60.	Boğazlıyan-60078 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları.....	172
Şekil 3.61.	Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54158 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	173
Şekil 3.62.	Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54161 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	174
Şekil 3.63.	Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54162 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	175
Şekil 3.64.	Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 59666 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması.....	176
Şekil 3.65.	Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 59667 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması.....	177
Şekil 3.66.	Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 60078 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması.....	177
Şekil 3.67.	Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 49734 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	178
Şekil 3.68.	Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 53215 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	179
Şekil 3.69.	Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 57515 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması	179
Şekil 3.70.	Kayseri istasyonuna ait RDI sonuçları ve Kayseri 15-01 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması.....	180
Şekil 3.71.	Yozgat istasyonuna ait RDI sonuçları ve Yozgat 15-17 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması.....	181
Şekil 3.72.	Nevşehir istasyonuna ait RDI sonuçları ve Nevşehir 15-32 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması.....	181
Şekil 3.73.	Tosya ve Ilgaz istasyonuna ait RDI sonuçları ve Tosya-İlgaz yolu üzerinde bulunan 15-38 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması.....	182

Şekil 3.74.	Sivas istasyonuna ait RDI sonuçları ve Sivas yakınlarında bulunan 15-39 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması	183
Şekil 3.75.	Kırşehir istasyonuna ait RDI sonuçları ve Kırşehir yakınlarında bulunan 15-182 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması.....	184
Şekil 3.76.	Kızılırmak havzasına ait SPI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları	186
Şekil 3.77.	Kızılırmak havzasına ait SDI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları	188
Şekil 3.78.	Kızılırmak havzasına ait SGI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları	190

GİRİŞ

Etkileri çok daha yıkıcı boyutlara ulaşabilen bir fenomen olan kuraklık diğer felaketlere göre daha geniş toprakları etkilemekte ve tarımsal, sosyal ve ekonomik alanda birçok sorunun kaynağı olmaktadır. Yağışların azalması ile başlayan karmaşık bir süreçte iklim parametrelerinin yanı sıra bölgenin şehirleşme, sanayileşme ve topografik özellikleri kuraklığın etkilerinin hissedilmesinde önemli etkenlerdendir. Sanayileşmenin hızlanması ve atmosferdeki sera gazlarının sayıca ve miktarca artması sonucu sıcaklıklarda yükselmelerin gözlemlendiği dönemler olarak görülmektedir. Sıcak yıllar olarak bilinen 1998, 2004 ve 2014 yıllarında dünya tarihinde kaydedilmiş en yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür. Son yıllarda etkisi iyice hissedilen kuraklık yağışların özellikle kar yağışlarının azalmasına sebep olurken, yağmurların sellere dönüşen boyutlarda yağarak çeşitli felaketlerin ortaya çıkmasına da sebep olmaktadır. Özellikle son birkaç yılda tarım arazilerinde çoraklaşma ve verim kaybı ile hem tarımsal hem de sosyoekonomik faaliyetlerde problemlerle karşılaşmaktadır.

Ülkemiz farklı iklimsel özelliklere sahip bölgelerden ve havzalardan oluşmaktadır. Kuraklığa meyilli bir bölge olan İç Anadolu bölgesinin büyük bölümünü oluşturduğu Kızılırmak havzasında kuraklığın farklı alanlara etkisinin boyutunu ve zamansal yayılışını belirlemek amacı ile kuraklığın ayrı parametreleri baz alan indislerle çalışılması ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Öncelikle verilerin homojenlik ve durağanlık değerlendirilmesi Von-Neumann, KPSS, PP ve ADF testleri ile yapılarak uygun olmayan istasyonlar elenmiştir. Ardından eğilim analizinde Lineer Regresyon analizi (LR), Mann-Kendall Trend testi (MK), Modifiye edilmiş Mann-Kendall testi (Hamed-MK), Spearman'ın Rho testi (SRHO) ve Yenilikçi Şen Eğilim Testi (İNVŞEN) kullanılarak 61 istasyondan elde edilen 8 farklı parametrenin eğilimleri araştırılmıştır. Pettitt testi (PT) ve Mann-Kendall Mertebe

Korelasyon metodu (MKMK) değişim noktası analizleri ile kırılmanın yaşandığı zamanlar tespit edilmiştir.

Kuraklık alanında kullanılan indislerinden literatür taraması sonucu en yaygın olanları ve standartlaşmış yaklaşıma sahip olanları üzerinde yoğunlaşmış ve meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların indislere bağlı farklı periyotlarla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kuraklıklardan etkilenme seviyesi hem eğilim analizlerinde hem de kuraklık analizlerinde incelenmiştir.

Tez kapsamında yapılan kuraklık çalışmalarında yağışlarda kuraklık Standartlaştırılmış Yağış İndisi(SPI),yağış ve potansiyel evapotranspirasyonda kuraklık Keşif Kuraklık İndisi (RDI), akışlarda kuraklık Standartlaştırılmış Akış İndisi (SDI), yeraltı sularında kuraklık Standartlaştırılmış Yeraltı Suyu İndisi (SGI) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. SPI, RDI, SDI ve SGI indisleri ile yapılan çalışmada 20 meteorolojik gözlem istasyonu, 18 akım gözlem istasyonu ve 23 yeraltı su kuyusu olmak üzere toplam 61 istasyonda SPI ve SGI analizlerinde 12 farklı periyotta (1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 aylık) ve SDI ve RDI analizlerinde 5 farklı periyotta (1, 3, 6, 9, 12) olmak üzere 791 kuraklık analizi yapılmıştır. Analizleri yapılan indislere ait sonuçlar farklı periyotlarda sunulmuş ancak 12 ve 24 aylık analizlerin özellikle hidrolojik kuraklığın tespitinde daha etkili olması sebebiyle SDI ve RDI analizleri 12 aylık, SPI ve SGI analizleri 24 aylık periyotlar üzerinde değerlendirilmiştir.

SPI analizlerinin sonuçlarına gidişler analizi uygulanmış ve kuraklığın genliği ve süresi arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir. Kuraklık analizlerinden elde edilen sonuçlara uygulanan eğilim analizlerinde kuraklık şiddetlerinin eğilimleri Lineer Regresyon analizi(LR), Mann-Kendall Trend testi (MK), Modifiye edilmiş Mann-Kendall testi (Hamed-MK), Spearman'ın Rho testi (SRHO) ve Yenilikçi Şen Eğilim Testi (İNVŞEN) kullanılarak araştırılmıştır. Tespit edilen eğilimlerin değişim noktası analizleri Pettitt testi (PT) ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon metodu (MKMK) ile elde edilmiştir. Meteorolojik ve Hidrolojik verilerin eğilim analizleri sonucu elde edilen eğilimler ve değişim noktaları Kuraklık analizlerin eğilim analizleri ile değerlendirilmiştir.

Son bölümde aynı zamansal ölçeğe dayalı kuraklık indislerinin kurak dönemleri ve ilerleyişleri karşılaştırılmıştır. Yağışa dayalı indis olan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ile Yeraltı Suyu seviye indisi olan Yeraltı Suyu İndisi (SGI) birlikte

değerlendirilirken, yağış ve potansiyel evapotranspirasyona dayalı Keşif Kuraklık İndisi (RDI) ile akışa dayalı Standartlaştırılmış Akış İndisi (SDI) birlikte değerlendirilmiştir.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. İklim

İklim Dünyanın herhangi bir yerinde uzun dönemli periyodik yıllar boyunca izlenen hava koşullarının ortalaması olarak tanımlanmıştır. Son dönemlerde bu ortalama değerlere atmosferde meydana gelen olayların ve iklim parametrelerinin maksimum ve minimum değerlerinin değişimlerinin katılmasıyla iklimin tüm elemanlarının istatistiksel olarak sentezi şeklinde tanımlanmaktadır (Türkeş, 1997). Daha sistematik bir açıklamayla zamansal ve mekânsal değişikliklerin gözlenen ekstrem olaylarla birlikte dahil edilmesi yaklaşımıdır.

İklim, birçok dinamik parametre ile değişen bir süreçtir. Bunlardan gözlenebilir olanlar şöyle sıralanabilir: Güneş ışıınımı, rüzgâr, sıcaklık, nem ve yağış. Güneş ışıınımı güneşten yerküreye ulaşırken birçok katmandan geçerek seyahat eden bir etkidir. Atmosfer koşullarına, bölgenin ya da alanın denizden yüksekliğine, güneşin yükseliş ve azimut açılarına bağlı olarak değişmekte ve yerkürenin ısınmasını sağlamaktadır. Sıcaklık, ısı enerjisinin ortama yayılmasıyla hissedilen enerjidir. Yükselti, rüzgâr, okyanus akıntıları ve bitki örtüsü gibi birçok değişkenden etkilenir. Nem; atmosferde sürekli olarak bulunan su buharının iklim bilimindeki tanımıdır. Sıcaklıktan en çok etkilenen parametrelerden biridir. Rüzgâr; atmosferde bulunan havanın değişime uğraması sonucu ortaya çıkan hava akımıdır. Yağış, hava kütlelerinin içinde bulunan su buharının soğuk bir katmandan geçerken ya da yükselmesiyle soğuk hava ile karşılaşması sonucu yoğunlaşıp yeryüzüne inmesi şeklinde tanımlanan iklim olayıdır. Bu parametrelerden birinin veya birkaçının etkilenmesi ve birbirini etkilemesi iklimin değişimine sebep olabilmektedir.

1.2. İklim Değişikliği

Uzun yıllar boyunca gözlenen hava şartlarının büyük ölçekli değişime uğraması olarak tanımlanan iklim değişikliği, Yerküre'nin en eski zamanlarından beri meydana gelen bir olaydır (Türkeş, 1997). Buzul çağlarından bu yana dünyanın birçok bölgesinde ortalama sıcaklık ve yağışlarda büyük değişiklikler gözlenmiştir. Doğal yollarla meydana gelen bu değişiklikler iklim sistemlerini ve dünya coğrafyasını değiştirmiş ve ekolojik sistemlerdeki değişimlerin kalıcı olmasını sağlamıştır. Son 1000 yıllık dönemde iklim sistemi dünya genelinde değişken ve düzenli olmayan bir seyir izlemiştir. Ortaçağ döneminde gözlenen sıcak bir periyodun ardından 14. Yüzyıldan 19. Yüzyıla kadar etkin olan küçük buzul çağı olarak adlandırılan soğuk dönem gelmiştir. İnsan kaynaklı olmayan bu değişimlerin iklim sistemini oluşturan fiziksel ve kimyasal süreçlerin işleyişinin sonucu olduğu düşünülmektedir. İklim kararsız ve değişmeye meyilli bir süreçtir. Aynı zamanda iklim sistemi insani kaynaklı etkilere, fosil yakıtlara ve arazi kullanımına karşı oldukça hassas bir sistemdir. Milyonlarca yıldır değişim ile süregelen iklim sistemi insan etkilerinden dolayı beklenmeyen değişimler gösterebilmektedir.

İklim değişikliği 1980'li yılların sonundan itibaren, iç ve dış kuvvetlerin etkisinin yanında insan kaynaklı sera gazı yoğunluğunun artışı ile birlikte düşünülmektedir. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (İDÇS) "Belirli bir periyotta izlenen iklim değişikliklerinin yanında insan etkilerinin bir sonucu olarak küresel atmosfer bileşiminin değişmesiyle iklimde görülen farklılaşma" olarak tanımlamıştır.

İklim sistemini etkileyen en önemli sebeplerden biri sera etkisidir. Güneşli bir havada kısa dalgalı güneş ışıınımı atmosferden geçiş yapar ve yeryüzü tarafından emilir. Emilen sıcaklığın uzun dalgalı ışıınımının bir kısmı atmosferden ayrılmadan önce atmosferin üst seviyelerinde yer alan bazı gazlar tarafından emilir ve tekrar atmosfere bırakılır. Bu gazlara sera gazları denir. En önemli sera gazları su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve ozon (O_3) gazları olarak sayılabilir. Bu sera gazlarının Güneş ışıınımı için geçirgen (daha kolay geçiş sağlayan) ancak uzun dalgalı geri salınım için az geçirgen olması ısınma soğuma dengelerini düzensizleştirmekte ve

Yerkürenin ısısının artmasına sebep olmaktadır. Bu süreç sera etkisi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1. Sera Etkisi (Uslu, 2013)

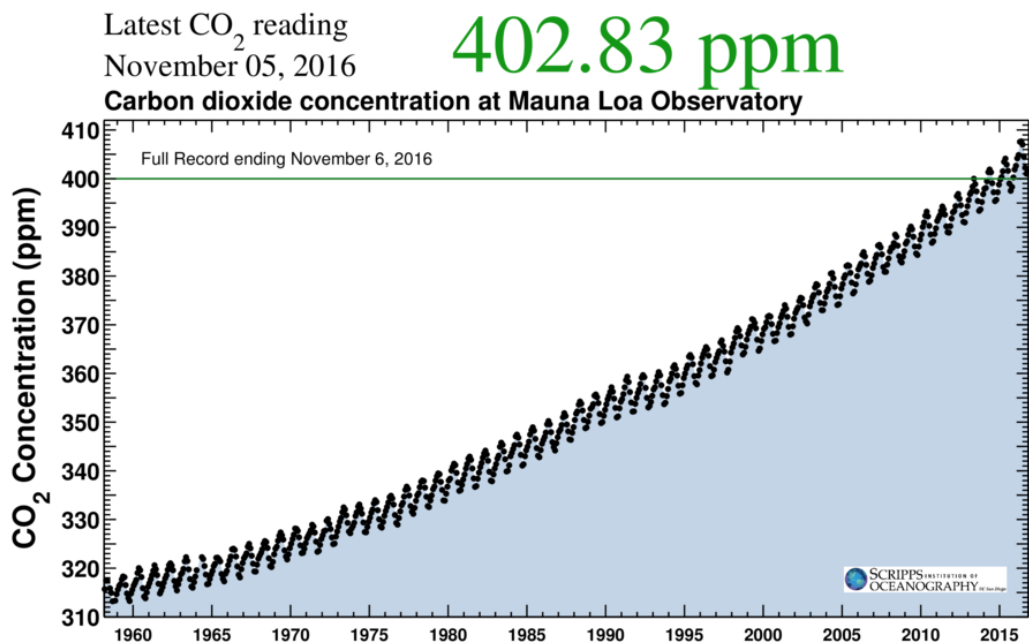
Atmosferde bulunan sera gazlarının artışı ve sera etkisinin hızlanması sanayi devrimi ile paralellik göstermektedir. Özellikle CO₂ bu gazlar arasında hem yoğunluğu hem de atmosferik ortamda kalma süresi açısından en önemli gazların başında gelmektedir. İnsan kaynaklı CO₂ salımlarının aynı hızda devam etmesi halinde, 280 ppmv olan sanayi dönemi salımının 21. Yüzyılda 500 ppmv değerine ulaşması beklenmektedir (IPCC, 1996). Sera gazı yoğunluğunda gözlenen bu artışların Yerküre'nin soğuması üzerine azaltıcı bir etkisi olacağından Yerküre ısınma anlamında artan bir ışımsal kuvvete maruz kalacaktır. Bu artan kuvvet ise kuvvetlenen sera etkisi (Şekil 1.1) olarak tanımlanmaktadır. Kuvvetlenen sera etkisinin Yerküre 'ye beklenen etkisi küresel ısınmanın boyutlarının artmasıdır. Bu artış ise küresel ısınmaya etki eden sera gazlarının yoğunluğunda meydana gelen artışa ve atmosferde kalma sürelerine ve ışımsal özelliklerine bağlıdır (Türkeş, 2000).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 1995 yılında yayınladığı ikinci değerlendirme raporunda iklim değişikliğine insan etkisinin katkısı olduğu ve iklimin önceki yüzyılda değiştiği ifade edilmiştir. Sanayi devriminden bu yana iklim değişikliğine doğal sürecin yanında insan kaynaklı etkilerin de sebep olduğunun farkına

varılmıştır. İklim değişimi 19. Yüzyılın başından itibaren bilim adamlarının dikkatini çeken ve uyarılar yaptıkları konulardandır. İklimin kendi süreci içinde değiştiği ve dünyanın bazı dönemlerde soğuk periyotlardan bazı dönemlerde sıcak periyotlardan geçtiği bilinse de sanayi devrimi sonrası dünyanın ısınmasının arttığı ve insan kaynaklı değişimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir. 1896 yılında Arrhenius tarafından sanayide kullanılan kömür miktarındaki artışların atmosferde bulunan CO₂ seviyelerinde artışa sebep olduğu bildirilmiştir (Arrhenius, 1896).

1938 yılında yapılan başka bir çalışmada bazı bölgelerin sıcaklık ve CO₂ oranlarını incelemiş ve CO₂ oranlarında ve sıcaklıklarda gördüğü artışların aralarında ilişki olduğunu söylemiştir. Gözlemlerinde CO₂ seviyelerinde %10 luk bir artış gözlemlendiğini ve bu artışların sıcaklığı yukarı yönde etkilediğini ifade etmiştir (Callendar, 1938).

Antarktika'da atmosferdeki karbondioksit oranlarının iki yıl boyunca aralıksız ölçüldüğü çalışmada karbondioksit oranlarındaki artışın fark edilebilir seviyelere geldiği söylenmiştir (Keeling ve Whorf, 1958). Hatta bu seviye ölçümlerinin oluşturduğu eğri Keeling eğrisi olarak anılmakta ve hala aylık bazda kayıtlar Hawaii-Mauna Loa Gözlem merkezinde alınmaya devam etmektedir. 2016 yılında güncellenen Keeling eğrisi Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kasım 2016 Keeling Eğrisi (carbonbrief.org)

İlk iklim konferansı Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) desteğiyle Cenevre'de birçok bilim adamının katılımı sonucu 1979 yılında gerçekleşmiştir. Dünya İklim Programının oluşumu için ilk adım olmuştur. 1985 yılında yapılan Villach toplantısında karbondioksit değerlerindeki yükselişin yeryüzünün ortalama sıcaklığını artıracığı konuşulmuştur. Ardından gelen 1987 ve 1988 yılında yapılan toplantılarla iklim değişimine ve insan etkilerine karşı siyasal seçeneklerin varlığı görüşülmüştür. 1988'de Malta'da yapılan toplantıda BM tarafından alınan kararlar iklimin insanlığa ait bir miras olduğu ve korunmasının gerektiği ve bu korumanın tüm devletleri ilgilendirdiği yönünde bir karar alınmıştır. 1989'da yapılan atmosferik ve iklimsel değişiklik konulu toplantıda bakanlar düzeyinde görüşmeler sürdürülmüş, toplantıda Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Sovyetler Birliği ve Japonya CO₂ salınımlarının azaltılması konusunda fikir birliği sundukları halde azaltmaya yönelik bir hedef belirlenememiştir (Türkeş, 2001).

1988 yılında Dünya meteoroloji teşkilatı ve Birleşmiş Milletler Çerçeve Programı iş birliğiyle Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Bu panel ile bilim adamlarının görüş ve düşüncelerini ifade edip kanıtlayacağı bir platform oluşturulmuştur.

Kasım 1990'da yapılan İkinci Dünya İklim Konferansı'nda iklim değişikliği ve sera gazları etkileri başlığı üzerine görüşmeler yapılmış ve Türkiye dahil 137 ülke tarafından Bakanlar Deklarasyonu yayınlanmıştır. Sera gazı birikimini atmosferde azaltmanın gerekliliği görüşülmüştür. IPCC tarafından 1990 yılında yapılan ilk değerlendirmede önceki on bin yıllık iklim değişikliklerine bakılarak sıcaklıklarda bu dönemlerde meydana gelen artışların beklenenden daha hızlı gerçekleştiğini belirtmişlerdir. 21. Yüzyılda sıcaklıkların on yılda bir 0.3°C artacağını ve 21. Yüzyılın sonlarında ortalama sıcaklıklarda oluşacak değişimin 3-5°C'lik artışla etki edeceğini öngörmüşlerdir.

İklim değişikliğine yönelik çalışmalara 1992 yılında Rio'da yapılan zirve ile devam edilmiş ve sera gazı birikimlerinin azaltılmasını sağlayacak eylem planlarının ve sorumlulukların tartışıldığı Yerküre Zirvesi'nde (UNCED) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (İDÇS) ilk adımı atılmıştır. Şimdiye kadar 185 ülke ve Avrupa Topluluğunun imza attığı sözleşme ile amaçlanan "Atmosferdeki sera gazı yoğunluklarını, iklim sistemine tehlike oluşturmayacak bir seviyede tutmak" olarak

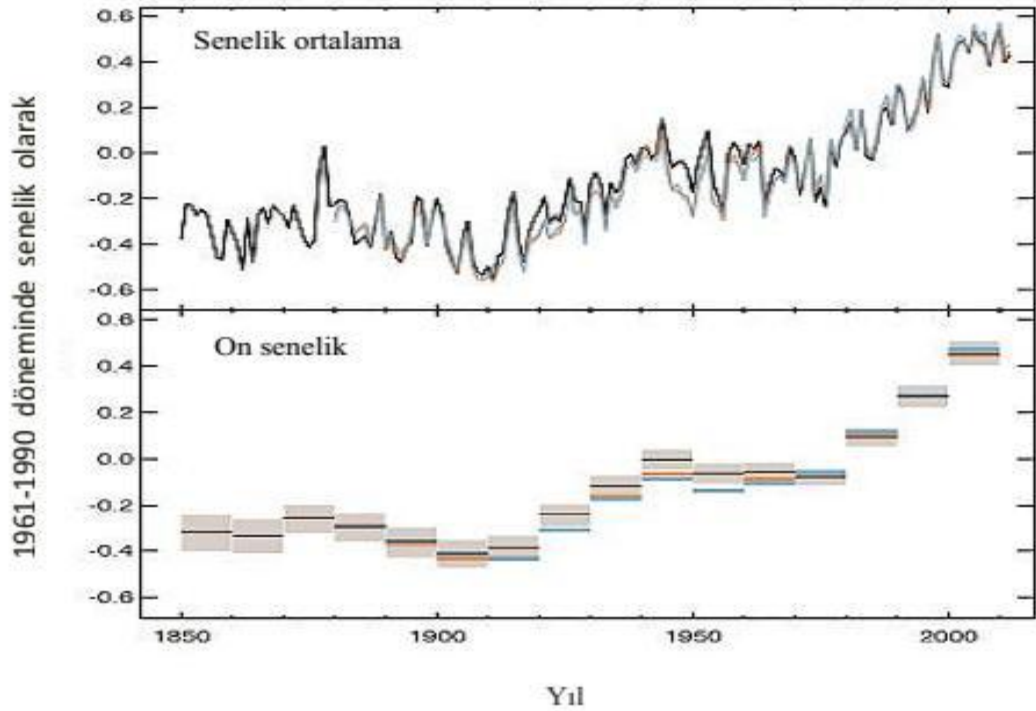
açıklanmıştır. (UNEP/WMO, 1995). Tüm ülkelerin sera gazı üretiminde azaltmaya gidilmesi, iklim değişikliğini tetikleyecek etkilerden kaçınılması ve iklimi etkileyecek tüm alanlarda dikkatli olunması hususunda sorumluluklar verilmiştir. Bu sorumluluklar ülkelerin milli ve yerel kalkınmalarına olumsuz etkide bulunmayacak ve ülkelere ait özel şartları da dikkate alacak şekilde oluşturulmuştur. Bu sayede sera gazı yoğunluğunun 1990 yılındaki seviyeye düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu bildirimlerin yapıldığı 1995 yılı IPCC tarafından kaydedilmiş en sıcak yıl olarak bildirilmiştir. İklim değişikliği için yapılan çalışmaların ne kadar gerekli olduğu bu şekilde ortaya çıkmıştır. 1997 'de başlatılan Kyoto protokolü ile sanayisi gelişmiş ülkelerin sera gazı salımlarını %5 seviyesinde azaltmaları kabul edilmiştir. Bu protokol dâhilinde gelişmekte olan ülkeler hariç, sanayileşmiş ülkeler 2008 yılına dek sera gazı salımlarının 1990 yılı sera gazı oranlarına düşürmeyi kabul etse de, İDÇS'nin bildiriminde çoğu ülkenin bu azaltma karara uymadığı duyurulmuştur. Bu kararlara uyulmamasının ardından 2003 yılında yayınlanan 3. Rapor sıcaklıklardaki artışın devam ettiğini, insan etkilerinin hala tehlikeli olduğunu bildirmiştir. Ardından Avrupa 2003 yılında en sıcak yazı geçirmiş ve bu sıcaklarda oluşan kuraklıklar sebebiyle 30.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir(Şahin, 2013). 2004 yılında Rusya bu protokole imza atarak sera gazı salımını azaltmayı kabul etmiş ve sera gazlarının %36'lık bölümünü üreten ülke ABD ise 2009 yılında Kyoto protokolünü imzalamıştır. Ülkemiz 2009 yılında bu ülkelere dâhil olmuştur. 192 ülkenin katılımı ile süren Kyoto protokolü, iklim üzerine ve sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik çalışmalarını sürdürmektedir.

1.3. İklim Değişikliğinin Etkileri

1.3.1. İklim Değişikliğinin Sıcaklık Üzerine Etkileri

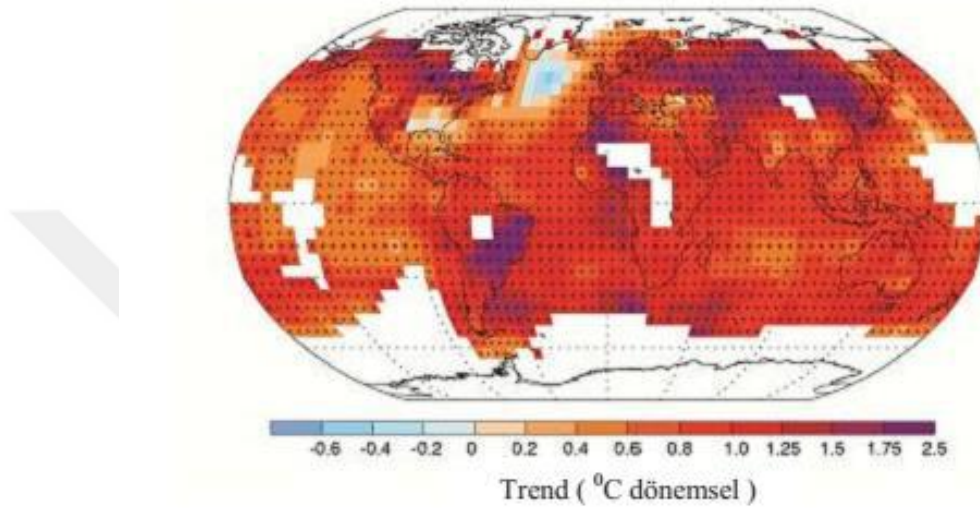
Sanayi devrimiyle birlikte ısınmaya başlayan dünyamızda artan sera gazları sebebiyle daha kuvvetli bir sera etkisi oluşmaktadır. 1980'li yıllardan itibaren hissedilen boyutlara ulaşan küresel ısınma 1990'lı yıllara gelindiğinde etkisini daha da artırmıştır. 1961-1990 yılları arasındaki dönemin kendisi sıcak bir dönem olmasına rağmen, 1998 yılında ortalama yüzey sıcaklığı normallere göre 0.57 C° daha sıcak olarak tespit edilmiştir. Özellikle ortalama yüzey sıcaklıkları 1998 yılında tüm Yerküre 'de rekor kırmış ve son bin yılda gözlenen en sıcak yıl olarak kaydedilmiştir (Türkeş, 2000, Türkeş, 2003). Küresel yıllık ortalama sıcaklıklar 1900-1998 periyodunda yaklaşık 0.7 C° artış

göstermiştir. 1980-1998 periyodunda yıllık ve mevsimlik küresel ortalamalar önceki 20 yıllık periyotlara göre daha büyük bir ivme ile artış göstermiştir. 1906-2005 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklıkları için yeniden düzenlenen 100 yıllık doğrusal artış eğilimi 0.74°C 'ye kadar çıkmıştır (Solomon vd., 2007) Bu eğilimin 50 yıllık ortalamaları dikkate alındığında 100 yıllık dönem ortalamalarının iki katı olmuştur ($0.13^{\circ}\text{C}/10$ yıl). Ortalama minimum sıcaklıklarda görülen artışın ortalama maksimum sıcaklıklardaki artışın yaklaşık iki katına kadar yükselmesi ise ısınmanın boyutları açısından dikkat çekicidir (Türkeş vd., 2000). 1998 yılı sonrası dönemde 1961-1990 dönemi ortalama sıcaklıklarına göre 0.626°C 'lik artış gösteren 2005 yılı son bin yıllık dönemde Kuzey yarımkürede en sıcak ikinci yıl olarak kaydedilmiştir. Güney yarımkürede ise ortalama sıcaklık artışı, 0.485°C ölçülmüş ve 2005 yılı Güney yarımküre için de en sıcak yıl olarak tespit edilmiştir. Küresel ısınmanın etkileri dünyanın her bölgesinde farklı seviyede etkilere sebep olacaktır. Yüksek enlemlerde yer alan bölgelerde özellikle kutuplar ve kutupların çevresinde sıcaklık artışı diğer bölgelere oranla daha fazla olacaktır. Dünyanın diğer bölgeleri ile aralarında sıcaklık artışının iki kat farklı olacağı öngörülmektedir. Dünyada sıcaklık 2°C artarsa, kutuplarda gözlenen artışın 4°C olacağı düşünülmektedir.



Şekil 1.3. 1850-2012 arasında yıllık periyotlarda izlenen, küresel bazda ortalaması alınmış, kara ve okyanus yüzey sıcaklığı (IPCC vd., 2013).

1901-2012 döneminde elde edilmiş ortalama sıcaklık(okyanus ve karalar için) verileri yüzey sıcaklıklarındaki artışın ortalama 0.9 °C artış gösterdiğini belirtmektedir(Şekil 1.3).Bu dönemde yerkürenin tüm yüzeyi ısınmıştır. Bu dönemin öncesinde geçen 30 yıllık dönem 1850'den bu yana en sıcak ardışık 30 yıllık dönemi ifade eder. Ve 2000-2010 dönemi de bu yüzyıla ait en sıcak 10 yıllık dönemidir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. 1901-2012 ortalama yüzey sıcaklıklarında izlenmiş değişimler

1.4. İklim Değişikliğinin Okyanus, Deniz Seviyeleri Ve Buzullar Üzerine Etkisi

Kış mevsiminde yaklaşık 15 milyon km²'lik bir alana sahip kuzey kutup buzulları, erime dönemi olarak bilinen yaz mevsimi sonunda yaklaşık 7 milyon km²'lik alanı kaplamaktadır. Rüzgâr, dalga ve akıntıların yardımıyla hareket eden buzul tabakaları okyanus ve atmosfer arasındaki ısı alışverişini sınırlamakla görevlidir. Buz üzerine düşen güneş ışınlarının yansımaları sağlayarak hem soğuk hem de deniz suyuna nazaran daha tatlı olan su birikimini ekvatora yönlendirir. Bu durum yerküre çevresinde hissedilmekle birlikte bütün okyanus sularının birikimini etkiler. Bu nedenle, buz kütleleri ya da buzullar iklim sistemi açısından ana unsurlardan biri olarak düşünülmelidir. Uydudan alınan görüntülerin ışığında, Arktik deniz buzlarının yayılmalarının alansal bazda değerlendirilmesinde her 10 yıllık periyotta % 2,7'lik azalmaların izlendiği gözlenmiştir (Parkinson vd., 2000). Okhotsk ve Japon denizleri 'nin yanında Kara ve Barents denizleri'nde meydana gelen azalmaların oranı 1998 yılına dek gözlenen en yüksek değere ulaşmıştır. Ancak, bu denizlerde gözlenen azalmalara rağmen, Bering Denizi'nde buz kaplı alanlarda artış gözlenmiştir. 20.

Yüzyılda başlayan azalmaları ile Kuzey yarımkürede yer alan Alpin dağ buzulları hem alan hem de hacim bazında meydana gelen azalmaları ile dikkat çekmektedir. Deniz buzu oluşan dönemlerin süre açısından kısalması ve buzulların alansal olarak azalmalarının devam etmesi iklim değişikliğinin etkilerin hızlanmasına ve Arktik çevreyi doğal olarak benimsemiş bitki ve canlı türlerinin tehlike altına girmesine sebep olacaktır. Ayrıca buzulların alansal ve hacimsel azalmalarının temel sebebi iklimin küresel anlamda ısınmaya doğru ilerlemesidir. Bu durum da küresel ısınmanın sürmesi halinde buzulların daha fazla kayıp vereceği ve eriyeceği anlamına gelmektedir. İklim sistemine ait önemli parametrelerden biri olan buzulların erimesinin devam etmesi deniz seviyesi yükselmelerine, okyanuslarda değişimlere ve atmosferik dolaşımın değişmesi gibi birçok etkiye sebep olması beklenmektedir. Küresel ısınmanın devam etmesi halinde, Arktik buzulların daha da küçüleceği ve erimelerinin artacağı öngörülmektedir.

Deniz ve Gel-git seviyeleri yapılan ölçümlere göre, 19. yüzyıldan bugüne dek ortalama deniz seviyeleri ile kıyaslandığında 10 ila 25 cm yükseldiği gözlenmiştir (IPCC, 1996). Deniz seviyelerinde görülen artışlarda düşey yöndeki yer kabuğu hareketlerinin ölçümler üzerinde belirsiz biçimde etkisi vardır. Yer kabuğunda uzun dönemli düşey hareketlilik eğilimlerinin dâhil olmadığı durumda okyanus hacimlerinin artışı dolayısıyla deniz suyu seviyelerinde yükselmelerin gözlemlendiği düşünülmektedir. Küresel ölçekte meydana gelen seviye artışlarının ya da deniz suyu yükselmelerinin büyük bir bölümü küresel ortalama sıcaklıklarda meydana gelen artış dönemleri ile aynı periyotlarda gözlenmesi aralarında bir ilişkinin varlığını düşündürmektedir. Ayrıca, aynı periyotlarda gerçekleşen ortalama sıcaklık artışları ve okyanus ısınmaları sonucunda deniz seviyelerindeki oluşan yükselmelerin 2-7 cm'lik kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir. Hem dağ buzulları hem de örtü buzullarında meydana gelen küçülmelerin yükselmeye katkısı 2-5 cm'ye karşılık gelmektedir (IPCC, 1996). Isınma haricinde yükselmeyi sağlayan etkilerin tespit edilmesi oldukça güçtür. Yeraltı suyu ve yüzey sularının deniz seviyesi yükselmelerine etki ettiği de düşünülmektedir.

1.4.1. İklim Değişikliğinin Yağışlar Üzerine Etkisi

Ortalama sıcaklıklarda yaşanan hareketlenmeler, atmosferde bulunan bağıl nem, buhar basıncı ve buharlaşma hızında farklı etkilere yol açmaktadır. Atmosferin su tutma kapasitesini artıran sıcaklıklardaki artış aynı zamanda atmosfer nemini de artırarak yağış

rejimlerinin farklılaşmasına yol açmaktadır. 1°C'lik sıcaklık artışının etkisi atmosferik su tutma kapasitesini ortalama %7 değerinde artırmaktadır. Küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artışla birlikte yağışın yoğunluk ve sıklığı farklılaşmaktadır. Yağış tipleri de yine aynı değişime katılmaktadır. 2001'de yayınlanan IPCC raporunda geçen yüzyılda yağışın bölgesel olarak farklılık göstermekle birlikte küresel ölçekte %2'lik artış gösterdiği ifade edilmiştir (IPCC, 2001). Ayrıca yağışlarda meydana gelen artışların ve yağış yoğunluğunun etkileri olarak sel, toprak kayması gibi afet şekline dönüşebildiğini de bildirmiştir. Sıcaklıkların artmasıyla buharlaşma hızı, atmosferin su tutma kapasitesi ve atmosferik nemin artmasını sağlamış bu sayede topraktaki nem içeriği azalmış ve yeraltı suyu gibi topraktan beslenen kaynaklar olumsuz etkilenmektedir.

Dünyanın farklı bölgesinde eğilimler çeşitlenmektedir. Kuzey yarımkürenin özellikle kutba yakın olan orta ve yüksek enlemlerinde yağışlar sonbahar-kış dönemlerine artmıştır. Hem Kuzey hem de Güney Yarımkürenin tropik bölgelerinde ise yağışlarda azalmalar görülmüştür. Dünyanın birçok bölgesinde küresel ısınmayla ilişkili değişimler uzun dönemlerde meydana gelmiştir. Ancak, on yıllık periyotlarda araştırılan etkiler tüm zamanlı değişimlerle kıyaslandığında aralarında büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Yağışların mevsim özelliklerinde oluşan değişimler, bölgeden bölgeye iklimden iklime daha da farklılaşmaktadır. Karasal alanlarda görülen yağış değişimleri, iklim modellerinde farklılıklar olmasına karşın, kutuplara ve ekvatora yakın bölgeler ile Güneydoğu Asya'da oldukça yüksek oranlardadır. İklim değişikliğinin ısınmayı etkilemesiyle meydana gelen yağışların mevsimsel ve yıllık toplamalarının nispi değişkenlikleri artan bir seyir izlemektedir(Hulme ve Jenkins, 1998).Sağanak yağışların iklim modellerinden elde edilmesi çözünürlük açısından oldukça zordur. Ama yapılan çalışmalarda sağanak yağışların sıklığının artacağına yönelik belirtiler bulunmaktadır. (Hennessy vd., 1997, McGuffie vd., 1999). Sıcaklıkların artışının bir sonucu olarak, yağışların kar olarak düştüğü bölgelerde bile karsız dönemler geçirilebileceği öngörülmektedir. Kar yağışlarının azalması anlamına gelen bu durum hidrolojik süreçleri etkilemesi beklenmektedir. Yağış tahminlerde ortaya çıkan belirsizlik gibi hidrolojik süreçlerin etkilenme durumu tahmin edilmesi zor bir süreçtir.

1.4.2. İklim Değişikliğinin Toprak Nemi Ve Yeraltı Su Kaynaklarına Etkisi

Tarım için oldukça önemli bir etken olan toprak nemi hem yeraltı suyunun beslenmesi hem de yüzeysel akış sularının oluşması açısından buharlaşma oranından etkilenmektedir. Toprak nemi, iklimsel özelliklerin yanı sıra toprağın karakteristiklerine bağlı olarak farklılaşan yerel etkilere sahiptir. Bu karakteristiklerden toprağın su tutma kapasitesi değişimlere en çok etki edecek parametrelerdendir. Toprağın nem tutması düşük seviyelerde kalırsa, iklimsel değişimlerden daha çabuk etkilenir. Toprağın su çekimi ve çatlamaya meyilli olması nem kapasitesini değiştiren diğer özellikleridir.

Yeraltı suyu dünya üzerinde özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerin kırsal kesimlerinde ve içme ve kullanım suyu olarak tercih edilen su kaynağıdır. Yeraltı suyu birikimlerinin beslenmesinde yağışlar, nehirler ve göllerin etkisi vardır. Su akifere yakın gözenekli kayalardan süzülerek veya çevresindeki yarıklardan ve geçirgen zemin katmanlarından sızarak akifere ulaşabilir. Yağış ve akışlarda meydana gelen değişiklikler beslenme sürecini etkileyeceğinden, süzülmeyi ve dolayısıyla akifere ulaşan su miktarını değiştirebilir. Orta enlemlerde yer alan coğrafyada tahmin edilen bütün iklim senaryoları kış yağışlarının artacağı yönünde fikir sunmaktadır(IPCC, 2007). Buharlaşma oranının yüksek olması, toprağın su açığının artması ve toplam efektif yağışlarda oluşan artışın dengelenmesi olarak algılanabilir. Dolaysız yerel yağışlar, nehir ve göller tarafından beslenen basınçsız akifer, akış üzerinde bulunan kayaların ya da zemin katmanlarının geçirgenliğinden etkilenir. Makro gözenek, çatlak ya da yarıklar akiferlerin beslenmesinde en önemli yapılarıdır. Su kaynakları açısından yeraltı suyuna ihtiyaç duyan yarı-kurak coğrafyalarda yeraltı suyu beslenmesi oldukça değerlidir. Bu yüzden hızlı beslenme gerçekleştirebilecek yağmur dönemleri bu akiferler için önemli kaynaktır. Böyle bir süreci toprağın nem muhtevası yerine yağışlarda gerçekleşen değişimler daha fazla etkileyecektir. Gelecek 10 yıllık dönemde iklim değişikliğinin etkilerinin daha da artması beklenirken, taşkın bölgelerinde yer alan sığ ve açık akiferler mevsimsel nehir akışlarından beslenirken, buharlaşma sayesinde su kaybetmektedir. Dere akışlarının süreleri ve üst katmanlarının geçirgenliği akifer beslenmesi olayında değişime sebep olabilir.

Yeraltı suyunun deşarjı yağış dağılımına, miktarına ve zamanlamasına, bitki su tüketimi kayıplarına, kar örtüsü kalınlığına ve kar erimesine ve arazi kullanımı / arazi örtüsüne

bağlıdır. Daha sıcak geçen kış mevsimi, topraktaki don örtüsünün incelmesine sebep olabilir ve toprağa sızan su miktarını artırabilir. Bu durum yeraltı suyu depolarının yeniden dolmasını sağlar. Kış mevsiminin daha sıcak geçmesi, yıllık nehir tepe akışlarının değişmesine ve akifer su seviyelerin yıllık bazda değişimine sebep olur (Scibek vd., 2007). Karların vaktinden önce erimesiyle yaz mevsiminde oluşacak düşük akışların daha da azaltabilir (Okkonen ve Kløve, 2011). Yaz düşük akışlarının değişmesi buz kütlelerinin erimesi ve geri çekilmesinden etkilenir. Önce buzullar eriyerek yaz akışlarında artışa sebep olsa da (Singh ve Kumar, 1997), ardından buzulların geri çekilmesiyle yaz akışında düşüşler meydana gelir (Huss vd., 2010). Bu, büyük kapalı akiferlere ve Glomma nehir sisteminin (Norveç) sınırlandırılmamış taşkın yatağı akiferlerine bağlı olan Po (İtalya) gibi buzulla beslenen nehirleri etkileyecektir. Kurak dönemlerde nehir akışının azalması, yeraltı suyu değişimini doğrudan etkileyecek ve nehir suyunun miktarındaki azalmalardan dolayı daha az yeraltı suyu süzülmesine sebep olabilir. Yeraltı suyunun dolumunda meydana gelen azalmalar, hidrolik eğimin arttığı coğrafyalarda kaybolan akışlar sebebiyle yüzey suyu birikimini artırabilir (Kløve vd., 2014).

İklim değişikliğinin yeraltı suyu üzerindeki tahmini etkileri, yağış ve kar eriyiğinin dağılımındaki değişikliklere bağlı olarak mevsimsel ortalama ve yıllık yeraltı suyu seviyelerinde bir kayma ile tipik olarak şarjın büyüklüğü ve zamanlamasındaki değişiklikleri içerir (Jyrkama ve Sykes, 2007, Okkonen ve Kløve, 2010, Hiscock vd., 2011, Liu, 2011). Yeniden şarjda öngörülen değişiklikler yağıştaki değişikliklerden daha büyük olabilir. Arazi kullanımı ve şehirleşme iklim değişikliğine verilen yeraltı suyu tepkilerini baskılayabilir veya artırabilir. Örneğin, ağaçlandırma şarjı artırabilir (Chaves vd., 2012) ve kentleşme tüketimi artırabilir (Taylor ve Tindimugaya, 2012). İnsan etkilerine ek olarak, iklim değişkenliğinin neden olduğu yeraltı suyu seviyelerindeki doğal uzun vadeli dalgalanmalar da dikkate alınmalıdır (Hanson vd., 2004, Gurdak vd., 2007, Anderson Jr ve Emanuel, 2008)

Deniz seviyesindeki yükselme, sahil bölge akiferlerine tuzlu su girişime sebep olacaktır. Bu girişimin miktarı yeraltı suyunun hidrolik eğimi ile ilgilidir. En büyük risk sahillerde bulunan sığ akiferlerdedir. Yağışların azalması ve denizlerin yükselmesi toplanabilir su hacminin azalmasıyla birlikte tatlı su miktarının da azalmasına sebep olacaktır (Amadore vd., 1996).

1.4.3. İklim Değişikliğinin Nehir Akışlarına Etkisi

Küresel ısınmadan en çok etkilenen süreçler arasında hidrolojik döngü ve su kaynakları ilk sıralarda yer almaktadır. İklim değişikliği, sıcaklığın artmasına ve yerkürenin birçok bölgesinde yağış modellerinin değiştirmesine sebep olmaktadır. Sıcaklık ve yağıştaki değişiklikler, hidrolojik döngünün farklılaşmasına yol açarak akarsu rejimlerinde artış ve azalmalara neden olur. Küresel ısınmanın bir sonucu olarak, küresel ortalama su buharı konsantrasyonları, buharlaşma, yağış, nem ve rüzgâr hızındaki değişiklikler meydana geldiği tespit edilmiş ve sonraki yıllarda bu değişikliklerin artarak devam edeceği düşünülmektedir (Beldring vd., 2008). Akarsu akışlarını yağış alanının özellikleri, eğimi, toprak örtüsü gibi havzaya bağlı parametrelerin yanında iklimsel faktörler(yağış, buharlaşma, sıcaklık) etkilemektedir. İklim parametrelerinde oluşan değişikliklerin akışlar üzerinde etkisi ise son yıllarda yapılan çalışmalarda bildirildiği üzere azalma yönündedir. Akışlara etkiyen iklimsel parametrelerden en önemlilerinden biri yağıştır, yağışın etkilenmesiyle yüzeysel akışa geçecek su miktarı değişir. Ancak, yağışlarda oluşan değişim nehirlere ulaşacak akışı birdenbire etkilemez. Nehirlerin beslenmesi hem iklimsel değişkenlere hem de havzaya bağlı değişkenlere bağlı olduğu için karmaşık bir sürecin değerlendirilmesi gerekir. Ancak yağışların azalma ya da artması akarsu akışları açısından oldukça önemlidir. Yağışın miktarı önemli olsa da yağışın yoğunluğu, arazinin eğimi, sızma oranı ve buharlaşma gibi birçok parametrede akışlara dolaylı olarak etkiyen değişkenlerdir. Her birinin iklim değişikliğinden etkilenim süreci farklı olacağından akışlardaki değişimi tahmin etmek oldukça zordur. Akarsu akışlarını etkileyen diğer yağış türü kar yağışıdır. Akışın çoğunluğunun kar erimesinden oluştuğu bölgeler iklim değişikliğine duyarlıdır, çünkü sıcaklık yağış tipi ve kar erimesi zamanlamasında etkili bir parametredir (Vicuña vd., 2008). İklim değişikliğinin kar hidrolojisi üzerinde iki temel etkisi vardır. Bunlardan biri, kar örtülerinin azalmasıdır; ikincisi, kışın/ilkbaharda sel ve/veya yaz aylarında kuraklıklara neden olabilecek kar erime zamanındaki kaymalar veya erken kar erimesidir. Sıcaklıkta gözlenen birkaç derecelik °C sıcaklık artışının akış zamanlamasını belirgin bir şekilde etkileyeceğini ifade etmiştir (Gleick, 1987, Lettenmaier ve Gan, 1990). Bu, soğuk mevsimde nehir akışlarının artmasına ve sıcak mevsimde nehir akışlarının azalmasına neden olur ve pik akışlarını soğuk mevsime doğru kaydırır. Hem gözlemler hem de modele dayalı çalışmalar, küresel ısınmanın karın baskın su kaynağı olduğu dağlık

havzalarda önemli bir etkiye sahip olduğu konusunda hemfikirdir (Mote vd., 2005, Hamlet vd., 2007, Adam vd., 2009, Yilmaz ve Imteaz, 2011)

1.4.4. İklim Değişikliğinin Su kaynaklarına Beklenen Etkileri

Su insanoğlunun en temel ihtiyaçlarının başında gelmektedir. Sadece insanoğlunun içme suyu olarak kullanmasının yanında su, tüm canlıların hayat kaynağıdır. Son yıllarda iklim değişikliğinin etkisiyle dünyada yaşanan bazı değişimler su kaynaklarının yeterliliği konusunda her cephede dikkatleri üzerine çekmiştir. Sıcaklıkların artması, kuraklıkların daha sık yaşanması ve suya olan ihtiyacın artması var olan kaynakların daha hızlı tüketimine sebep olabilir. Dünya genelinde birçok bilim adamının yaptığı çalışmalar, birçok sosyal kuruluş iklim değişikliğinin engellenmezse ya da yavaşlatılamazsa büyük sorunlarla hayatımıza dâhil olacağını göstermektedir. İklim değişikliğinin ülkeler bazında değerlendirildiği bir kurum olan IPCC yayınladığı raporlarla su kaynaklarının iklim değişikliğinden etkilenme öngörülerini şu şekilde sıralıyor:

Genel dolaşım modellerine (GCMs) göre iklim değişikliğinin etkisiyle küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenebilecek 1.5-4.5°C'lik yükselme küresel ortalama yağışları %3 ile %15 oranında artırabileceği tahmin edilmektedir.

Yağışların yoğunluğu ve bölgeselliği farklılaşacak ve yağışların şiddeti giderek artacaktır. Özellikle yüksek enlemlerde, kış mevsiminde oluşan yağışların yöresel dağılımı belli olmasa da artış beklenmektedir. Bu durum Genel dolaşım modellerine göre orta enlemlerde de gözlenebilir.

Potansiyel Evapotranspirasyon oranı sıcaklığın yükselmesiyle birlikte yükselir. Yağış oranının arttığı coğrafyalarda bile artan Evapotranspirasyon oranı yüzeysel akışlarda azalmalara yol açabilir. Bu azalmaların bir sonucu olarak yenilenebilir su kaynaklarının azalması beklenebilir.

Yüksek enlemlerde görülen yıllık yüzeysel akışlar artan yağışlardan etkilenebilir. Ancak, buharlaşma oranlarında görülen artış ve yağış miktarında görülen azalma düşük enlemlerde yerleşen havzalarda yüzeysel akış değerlerinin düşmesine sebep olabilir. Su kaynaklarında meydana gelen azalma ile su kıtlığına varan problemler ortaya çıkabilir.

Birçok iklim senaryosu ile ortaya çıkan durumda, sel sıklığı bütün coğrafyalarda artacak ve havzadan havzaya bölgeden bölgeye farklı etkiler gözlenecektir. Bütün coğrafyalarda genel bir sel artışı beklense de bazı coğrafyalarda sel sıklığı daha büyük artışlar gösterecektir.

Yağışların toplamalarında gözlenen azalma, kurak mevsimlerin artması ve sıklaşması ve evapotranspirasyon değerlerindeki yükselmenin etkisiyle bazı coğrafyalar daha sıklaşan ve şiddetlenen kuraklıkla karşılaşacaktır.

İklimsel değişikliklere duyarlı olan coğrafyalar genellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerdir. Bu coğrafyalarda yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlerde meydana gelecek değişiklikler az olsa bile büyük etkiler yaratabilir. Yağış ve sıcaklıkta meydana gelecek değişikliklerin küçük değerlerinde bile yüzeysel akış değerlerinde büyük değişimler gösterebilir ve sel ya da kuraklığın görülme sıklığını artırabilir.

Dünya genelinde gözlenen yağışların belli bir miktarı kar olarak düşer. Havaaların ısınmasıyla yağışların kar yağışı yerine yağmur olarak düşmesi dağlık bölgelerde kardan beslenen su kaynaklarının miktarında değişikliklere yani azalmalara ve mevsimsel su miktarlarının değişimine sebep olacaktır. Bunun yanında su kaynaklarında akışın azalması su içindeki çevresel kirletici etkisini artıracak ve su kalitesinde istenmeyen bozulmalara sebep olabilecektir.

Buzulların erimesi ve kar örtülerinin giderek azalması tatlı su kaynaklarında azalmalara sebep olacaktır.

1.5. İklim Değişikliğinin Türkiye’de Beklenen Etkileri

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olan, farklı bölgelerden ve birçok alt iklim sisteminden oluşan bir coğrafyadır. Subtropikal kuşakta olan Türkiye, kıtaların batısında bulunan ve Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bir bölgede yer almaktadır. Orta enlem-polar ve tropikal kuşaklardan dolayı farklı basınç sistemlerinin ve hava tiplerinin hâkim olduğu bir geçiş bölgesi üzerinde bulunduğu için çeşitli iklim tiplerinin birleşiminden oluşmaktadır. Ortalama yüksekliği 1100 m’dir. Parçalanmış bir topografyadan oluşması ve topografik özelliklerin kısa mesafelerde farklılaşması sebebiyle iklim değişikliğinden farklı şekillerde ve derecelerde etkilenmektedir.

Türkiye, iklim değişikliğinin getireceği riskler bakımından etkilenme oranı yüksek olan ülkeler arasındadır. Küresel ısınmanın tehdidi altında olan bölgelerde; orman yangınlarının artması, su kaynaklarında azalma, kurak dönemlerin uzaması ve çölleşme etkisi ile ekolojik çeşitliliğin azalması gibi birçok tehlike öngörülmektedir. IPCC'ye göre son yıllarda atmosferde biriken sera gazı yoğunluğuna göre gelecek yıllarda meydana gelebilecek iklim değişikliğinin Türkiye ve coğrafyasında gözlenebilecek etkileri şöyle sıralanabilir (Türkeş, 1994, IPCC, 1996, Aksay vd., 2005, IPCC, 2007);

- ❖ Sıcaklıkların önümüzdeki 10 yıllık dönemde kış mevsiminde 2°C, yaz mevsiminde 2-3 °C aralığında artması beklenmektedir. 2030 yılında Türkiye'nin bölgesel olarak büyük bir parçası kurak bir iklim etkisine girecektir.
- ❖ Türkiye'de, uzun yıllar yağış ortalaması 631 mm iken, yağış miktarı, 1999 yılında %15 oranında, 2000 yılında ise %7 oranında azalmıştır. Son yıllarda gözlenen bu azalma ile birlikte ortalama yağışların kış mevsiminde %10 artış gösterse de yaz mevsiminde ise %5-15 oranında azalacağı beklenmektedir. Ortalama yağışlarda gözlenen azalmalara ek olarak yağış rejiminde meydana gelen değişimlerin tarımsal etkinlikler açısından önemli olduğu vurgulanmaktadır.
- ❖ Ortalama iklim şartlarında küresel ısınmayla birlikte yağışlarda kış mevsiminde beklenen küçük artışlar olsa da yaz mevsiminde yağışların büyük oranda azalması buharlaşmanın artmasına sebep olacaktır.
- ❖ Yağışlarda meydana gelebilecek yüksek rastgele değişkenliğin ve daha çok yaz mevsimi kurak devrelere sıklıkla rastlanan Akdeniz ikliminde iklim değişiminin su kaynaklarının üzerindeki stresi artıracığı öngörülmektedir.
- ❖ Yağış rejimlerinde ve zamansal özelliklerindeki değişim, akışlarda oluşacak azalma ve sıcaklıkların giderek artması su ihtiyacını daha artırarak su kaynaklarının azalmasına ve tarım, içme suyu ve diğer suya bağlı ihtiyaçlardan dolayı su tüketimlerinin hızlanmasına yol açacaktır.
- ❖ İklimsel değişikliğe hassas olan alanlardan biri ormanlardır. Yağışın rejiminde ve yoğunluğunda oluşacak değişimlerden, zararlıların ortam değişikliğinden ve karbon birikimlerinin azalmasından dolayı değişime duyarlı sistemlerdir. İklim değişikliğinin sıcaklık, aşırı yağış, sel gibi etkilerinden ormanların yaşayacağı tahribatın yüksek oranda olacağı öngörülmektedir.

- ❖ Sıcaklık artışına ve kuraklığın uzunluk ve şiddetine bağlı olarak Orman yangınlarında etkiye alanı, yangının süresi ve şiddeti artabilir. Yaz mevsiminde toprak neminin azalacağı ve azalmanın %15-25 oranına kadar yükseleceği tahmin edilmektedir.
- ❖ Orman ve denizlere ait sera gazı(CO₂) tutma ve bırakma kapasiteleri değişikliğe uğrayabilir ve bu durum doğal hazne ve yutakların zayıflamasını sağlar. Genel Dolaşım Modellerinin öngörülerine göre, Küresel karbon emilimi karasal düzeyde ormanlara bağlı olarak azalabilecektir.
- ❖ Özellikle Akdeniz havzasının bulunduğu daha kırılgan iklimlere sahip bölgede dünyanın oluşum sürecinde gerçekleşmiş olan iklim kuşaklarının kayması iklim değişikliğinin etkisiyle Türkiye coğrafyasında gözlenebilir. Böyle bir iklim kuşağı kayması sonucunda hâkim iklimler yüzlerce kilometre yer değiştirecek ve Türkiye'nin iklimi, Ortadoğu'nun ve Kuzey Afrika'nın yaşadığı iklimin hakimiyeti altında kalacaktır. Bu sıcak ve kurak iklim kuşağının etkisiyle canlı ve ekolojik yaşamı değişecek, uyum sağlayamayan türler yok olma tehlikesi ile karşılaşacaktır.
- ❖ Kurak ve yarı-kurak bölgelerin büyümesinin yanında yaz mevsiminde görülen kurak devrelerin süresinin uzaması ve çölleşmeye eğilimi ve erozyonu ivmelendirecektir.
- ❖ Sıcak ya da tropikal günlerin sayısında ve dağılımında ortaya çıkan artışlar insan sağlığında ve ekolojik sistemlerin dengelerinde bozulmayı beraberinde getirecektir.
- ❖ Su kaynaklarında ortaya çıkan belirsizlikler sonucunda, sıcaklık stresinden kaynaklanan enfeksiyonlar, özellikle yoğun nüfus barındıran şehir merkezlerinde sağlık problemlerine sebep olabilir.
- ❖ Yoğun nüfus ve sık kentleşmenin yer aldığı bölge ve şehirlerde soğumanın daha geç gerçekleşmesi sonucu soğutma amaçlı kullanılan enerji miktarlarında artış gözlenecektir.
- ❖ Doğal ekosistemler ve tarımsal ekosistemler, iklim değişiminin etkisiyle zayıflayacaktır. Zararlı bitki ve canlıların artışı ve hastalıkların çoğalmasıyla olumsuz birçok etkileşim meydana gelecektir.
- ❖ Tarıma bağlı üretim yöresel ve mevsimsel etkileşimle artış veya azalma yönünde değişime uğrayabilir.

- ❖ Yağışların mevsimsel olarak yayılışlarında değişimler meydana gelecek ve bu değişimler akımlarda değişimi tetikleyecektir. Akışlarda beklenen azalmanın yanında akışların pik zamanları da kayacaktır.
- ❖ Su kaynaklarının azalacağı düşünülerek, su temininde yaşanacak belirsizliklerin rezervuar ve depolama tesislerinin önemini artırması beklenmektedir.
- ❖ Ülkemizin dâhil olduğu Akdeniz Havzası'nda 2030 yılına kadar beklenen su seviyeleri yükselmesi 12-18 cm kadardır. 2050 yılına kadar bu yükselmenin 38 cm'ye kadar ulaşacağı ve 2100 yılında bu değerin 65 cm'yi bulacağı öngörülmektedir.
- ❖ Deniz seviyelerinde oluşacak yükselmeye bağlı olarak sahil şeridi yerleşimi, turizm ve tarım etkilenecek. Bunlara ek olarak kıyı kesimlerinde yer alan tatlı su kaynaklarının tuzlu su ile kirlenmesine sebep olacak ve azalmakta olan tatlı su kaynaklarının varlığını daha da azaltacaktır.
- ❖ Deniz akıntıları, denize bağlı ekosistemlerde ve balıkçılık ile geçinen bölgelerde hem ekosistem açısından hem de balıkçılık ile geçinen nüfus açısından sorunlar oluşacaktır.

1.6. Kuraklık

Kuraklık, bir sezon ya da daha uzun süreli periyotlarda insan faaliyetlerini ve çevresel talepleri karşılamak hususunda yetersiz olan ve normal ya da beklenen yağışların azalması sonucu yağış eksikliğinden kaynaklanan sinsi bir doğal tehlikedir. Kuraklık ayrıca yağmurların başlangıç zamanı, yoğunluğu ve zamana bağlı etkinlik değerleri ile de ilgilidir. Sıcaklık, rüzgâr ve bağıl nem gibi diğer iklimsel faktörler kuraklığın ortaya çıkmasında ve şiddetinin artmasında etkilidir. Kuraklık tek başına bir felaket değildir. Ancak felaket olup olmadığı yerel halk ve çevre üzerindeki etkisiyle ve bu yetersizlik sürecine çevrenin dayanıklılığı ile belirlenebilir. Kuraklığın şiddeti sadece belirli bir kuraklık döneminin süresine, yoğunluğuna ve coğrafi boyutuna değil, aynı zamanda insan faaliyetleri ve bir bölgenin su kaynakları üzerindeki bitki örtüsünün taleplerine de bağlıdır. Çevresel, toplumsal ve ekonomik etkileri ile birlikte, kuraklığın karakteristiklerini tanımlamak ve ölçmek oldukça zordur. Bu sebeple kuraklığın hem doğal hem de sosyal boyutlarını anlamak kuraklığı tanımlamak açısından önemlidir. Kuraklık iklimin normal seyrinden ayrı tutulmak yerine, iklimin doğal bir parçası olarak

görülmelidir(Glantz, 2003). Kuraklık, iklimin kalıcı bir parametresi olan ariditenin aksine geçici bir sapmadır. Aridite ile kuraklık tanımları zaman zaman birbirine karışabilmektedir. Aridite; herhangi bir coğrafyada oluşabilen uzun dönemli atmosferik koşulların değişimiyle ortaya çıkan yağış ve nem eksikliği ya da klimatolojik kuraklık olarak tanımlanır. (Türkeş, 1998, Türkeş, 2008). Bu koşulların yılın uzun bir döneminde ya da yıl boyunca hâkim olduğu bölgelere arid bölge denir. Ancak kuraklık, yeryüzünde bulunan su varlığının belirli bir zaman periyodunda ve belirli bir coğrafyada uzun dönemli ortalamalarının ya da normal değerlerinin altında oluşmasıyla ortaya çıkan su açığı olarak tanımlanır(Türkeş, 2012). Kuraklığın şiddeti, süresi ve coğrafi dağılım özellikleri ile diğer doğal afetlerden ayrı değerlendirilmesi gereken bir doğa olayıdır.

Kuraklık, diğer doğal afetlerden bazı özellikleri ile farklıdır. İlk olarak, genellikle tırmanıcı-sürünen bir yapıya sahip olan ve yavaş yavaş ilerleyen sinsi bir doğa olayıdır(Gillette, 1950). Tırmanıcı-Sürünen özelliği sebebiyle, etkileri hemen fark edilemez ve önemli bir süre boyunca yavaş yavaş birikir. Bu nedenle, kuraklığın başlangıcını ve sonunu belirlemek zordur. Hem başlangıcının hem de sonunun belirlenememesi sürecin kontrol edilebilmesi açısından büyük sıkıntı yaratır. İkinci olarak, kesin ve tüm coğrafyaları kapsayan bir tanımı olmadığı için, kuraklığın varlığının ve şiddet derecesinin belirlenmesi karmaşık bir konudur. Daha sağlıklı bir kuraklık tanımlaması yapılabilmesi için bölgenin iklimi, topografyası gibi bölgeye ait özellikleri ve bölgeye etkisi dikkate alınmalıdır. Her iklim rejimi iklimsel bakımdan farklı özelliklere sahiptir. Avustralya, Güney Afrika, Batı Avrupa ve Kuzeybatı Hindistan gibi bölgelerin kuraklık özellikleri birbirinden önemli ölçüde farklıdır.

Üçüncü olarak, kuraklığın etkileri genellikle yapısal değildir ve taşkın, deprem ya da tropikal fırtınalar gibi diğer doğal afetlere göre hasarları daha geniş bir coğrafyayı etkiler. Bu durum yavaş ve belirtisiz ilerleyişi ile birleştiğinde etkilerinin tespitini zor hale getirebilir ve diğer afetlere göre tedbir alınması ve yardım edilmesi daha karmaşıktır. Kuraklığın etkilerinin ya da gelişinin tam olarak belirlenememesi gibi özellikleri kuraklıkla mücadele aşamasında doğru, etkin ve güvenilir planlar yapılmasında güçlükler doğurmaktadır. Bununla birlikte, kuraklığın zaman içindeki eğilimleri, sıklığı ve şiddeti belirlenmesi gereken önemli konulardır. Özellikle, küresel ısınmanın gelecekte bazı coğrafyalar için daha ciddi tehlikeler oluşturabileceği tahminiyle kuraklığın olumsuz yönde etkileneceğinden endişe edilmektedir. Su

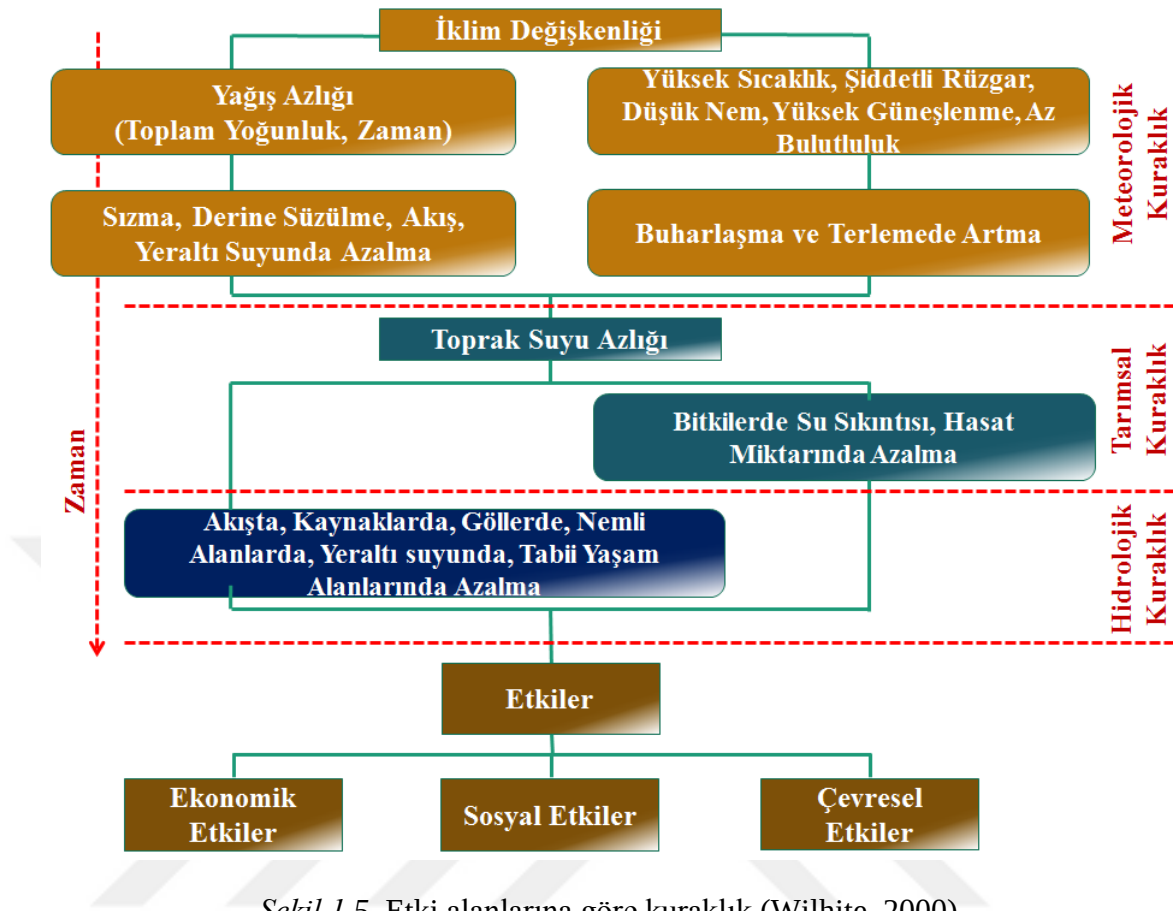
kaynaklarının sınırlı olması ve var olan kaynakların hızla azalması ile su kaynaklarının az ya da çok olduğu bölgelerde bile gerginliklere sebep olacaktır. Bu yüzden gelecekteki kuraklık olaylarının etkilerini tahmin etmek ve gereken tedbirleri alarak daha az yıkıcı olmasını sağlamak oldukça önemlidir. BM Çölleşme Savaşım Sözleşmesi(BMÇSS) ve diğer uluslararası kuruluşlar tarafından çölleşme, arazilerin verimini kaybetmesi, tarım ihtiyaçları ve kuraklık sebebiyle gelecek yıllarda küresel ölçekte bir su krizi yaşanabileceği düşünülmektedir(Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005).

1.6.1. Kuraklığın Sınıflandırılması

Kuraklık, Yer küre üzerindeki afetlerden yapısı itibariyle farklı bir konumda yer alsa da kesin bir tanıma sahip değildir. Kuraklığın mutlak değil göreceli bir durum olduğu düşünülmelidir. Hem yüksek hem de düşük yağış alan bölgelerde ve neredeyse tüm iklim rejimlerinde görülebilen bir durumdur. Kuraklıktan etkilenen alanın yoğunluğu, merkez üssü ve büyüklüğü her yıl değişecektir, ancak varlığı neredeyse her zaman hissedilmektedir. Tanımlamalar bir veya birden çok parametre içerse de özellikle bu parametrelerin olumsuz etkilerine dikkat çekilmiştir. Örneğin, yağış, sıcaklık, buharlaşma, toprak nem muhteviyatı ve buna benzer birçok meteorolojik-hidrolojik parametrenin artış ya da azalması gibi değişimlerinin kuraklığa etkileri sınıflandırmada dikkate alınmıştır.

1.6.2. Etkilediği Alana Göre Kuraklık

Uzmanlar tarafından yapılan kuraklık tanımlamaları; yağışların normalden daha az olması, yağışların insani ve çevresel ihtiyaçları karşılama düzeyinden uzaklaşması şeklinde çeşitlendirilebilir. Burada ifade edilen en belirgin durum su miktarında meydana gelebilecek eksikliktir. Su açığı, atmosfer ve yerkürede dolaşım ve etkileşim halinde olan birçok karmaşık faktörün birleşimi sonucu suyun tüketim veya kullanım için doğada kullanılamaz olduğunda meydana gelebilir. Bu su açığının etkileyeceği alanlara göre bilim adamları tarafından kuraklık; meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık olarak sıklıkla ifade edilmiştir (Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005, Nagarajan, 2009).



Şekil 1.5. Etki alanlarına göre kuraklık (Wilhite, 2000)

1.6.2.1. Meteorolojik Kuraklık

Her türlü kuraklık yağış eksikliğinden kaynaklanır. Meteorolojik kuraklık, bu yağış eksikliğinin uzun bir dönem boyunca devam etmesi sonucu kuraklığın ilk hissedilen seviyesidir. Bölgeye özgü gelişen bir yapıya sahiptir, çünkü yağış seviyeleri ve kuruluk süresi bölgesel normallerle karşılaştırılmalıdır (Nagarajan, 2009). Bölgeden bölgeye bile, atmosferik şartların değişmesi yağış eksikliğine yol açar ve üzerinde meteorolojik bir kuraklığın meydana gelebileceği çok çeşitli zaman ölçekleri vardır. Her bölgenin ya da ülkenin meteorolojik kuraklık belirleme değerleri birbirinden farklıdır. Meteorolojik kuraklık mevsim, yıl veya onlarca yıllık yağış miktarı olarak ölçülür. Bazı değerlendirmeler yağış toplamalarını bazıları da yağış normallerinin 1/3'ünden daha az olan yağış miktarını meteorolojik kuraklık olarak alabilmektedir. Yağış miktarı ile birlikte yağışsız 15 günlük süre meteorolojik kuraklık olarak değerlendirilebilir (Türkeş, 1990). Kuraklık süresinin toprak nemi ve akarsu akışı, akarsularda su temini, sığ yeraltı suyu tabloları ve küçük göller ve rezervuarlar üzerinde büyük bir etkisi vardır.

1.6.2.2. Tarımsal Kuraklık

Tarımsal kuraklık, toprak neminin bitkinin ihtiyaç duyduğu değerden daha az olması sonucu ortaya çıkan kuraklığın ikinci seviyesidir. Meteorolojik kuraklığın uzaması sonucu yağış eksikliğinin ileri boyutlara gelmesi ve toprağın nemini kaybetmesiyle oluşur. Ancak sadece yağış eksiklikleri ile açıklanamaz. Yağış ile yağışın toprağa süzülmesi arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Toprağa süzülen su, bölgesel nem şartlarına, bölgenin topografik özelliklerine (eğim), toprağın su tutma özelliğine ve yağışın zamansal yayılımı ve yoğunluğuna göre değişir. Zeminin su tutma kapasitesi yüksek olan bölgeler kuraklığa daha dayanıklıdır. Ancak, daha az su tutan bir zemin yapısı kuraklığa daha elverişlidir. Kuraklığın belirlenmesi aynı zamanda bölgede yetişen bitki türü ve hayvan ırkları açısından oldukça önemlidir (Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005).

Dikim sırasında toprağın üst tabakasında görülen nem yetersizliği çimlenmeyi olumsuz yönde etkileyerek bitkinin popülasyonunda düşüşe sebep olur. Mahsul gelişiminin sonraki aşamalarında görülen kuraklık verimin düşmesine ve tarım arazilerinin azalmasına sebep olabilir. Kuraklığın tarımsal alandaki etkilerinin boyutları bitkinin biyolojik özelliklerine, büyüme aşamalarına ve toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerine bağlıdır.

Tarımsal kuraklık birçok tehlikeyi de beraberinde getirir. Sosyal ve ekonomik hayatı etkiler ve sorunlara yol açar. Özellikle, ekonomisi tarıma dayalı coğrafyalar için daha ciddi boyutlarda tehdit oluşturur. Kuraklığın uzun sürmesi ve aynı şiddette ya da artan şiddette etkilerine devam etmesi bitki büyümesini oldukça azaltır ve ürün miktarının azalmasına yol açar. Eğer tarımsal sulama yağışa dayalı bir sistemle sürdürülüyorsa kuraklığın etkilerinin azaltılması ve mahsulün zarar görmesinin önüne geçilmesi için sulama faaliyetleri ile destek sağlanmalıdır. Sulamalı tarım ile bitki yetiştiren bölgelerde tarımsal kuraklık ile hidrolojik kuraklık zamansal olarak aynı dönemlerde izlenebilmektedir.

1.6.2.3. Hidrolojik Kuraklık

Hidrolojik kuraklık, yağış eksikliğinin farklı bir boyutudur, çünkü normalde yüzey ve yer altı su kaynaklarının zaman içinde farklı bölgelerdeki bazı ortalama koşullardan

sapması olarak ifade edilir. Genellikle yağış alanı veya nehir havzası ölçeğinde tanımlanır ve yetersiz yağış dönemlerinin akarsu, göl, rezervuar ve yeraltı su seviyeleri gibi yüzey veya yeraltı su kaynakları üzerindeki etkilerini ölçer. Tüm kuraklıklar yağış eksikliği ile ortaya çıkmasına rağmen, hidrolojik kuraklık, su havzasındaki veya nehir havzasındaki yağış eksikliklerinden kaynaklanan su arzındaki eksikliklere işaret etmektedir Hidrolojik kuraklıklar genellikle yağış problemlerinin hidrolojik sistemin bileşenlerinde ortaya çıkması daha uzun sürdüğü için meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların gerisinde kalmaktadır (Nagarajan, 2009). Bölgede hâkim olan meteorolojik kuraklık etkisini yitirdikten sonra bile, kuraklık hidrolojik bileşenlere olan olumsuz etkilerini coğrafyanın fiziki özelliklerine ve toprağın fiziki ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak devam ettirebilir (Türkeş, 1990). Bölgede bir hidrolojik kuraklık görüldüğünde, akarsu ve dere akışlarında azalma, göl ve göletlerde su çekilmesi ve yeraltı su seviyelerinde düşüş gözlenir. Meydana gelen hidrolojik kuraklığın havza üzerindeki etkilerini akarsu akışları, rezervuarlarda su seviyelerinin ve yer altı su seviyelerinin değişimlerinin bir dönem boyunca ölçülerek tespit etmek gereklidir.

1.6.2.4. Sosyo-ekonomik Kuraklık

Sosyoekonomik kuraklık diğer kuraklık tiplerinde bariz şekilde farklıdır çünkü insan aktivitesini meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık unsurlarıyla ilişkilendirir. Meteorolojik kuraklığın tarımsal faktörleri etkilemesi sonucu mahsulde meydana gelen azalma ve devam eden kuraklığın hidrolojik kuraklığa dönüşmesi sonucu su kıtlığına giden bir süreç insan hayatını etkileyecektir. Yaşam kalitesinin düşmesi ve ihtiyaçların tedariklerinde ortaya çıkacak zorlanma ile coğrafyada sosyo-ekonomik kuraklığın etkileri tehdit şekline dönüşmüş olacaktır.

1.6.3. Etkileme sürelerine Göre Kuraklık

1.6.3.1. Kısa Vadeli Kuraklıklar

Kısa süreli kuraklıklar, aylar boyunca normal yağış miktarlarının önemli ölçüde altında olan dönemler olarak tanımlanır ve meteorolojik kuraklıklar olarak adlandırılır, çünkü hava gözlemleri başlangıç ve bitiş noktalarını ve şiddetlerini tanımlamak için kullanılır. Bir yerin hava durumu gözlemlerinden yağış istatistiklerine dayanarak çeşitli yağış açığı

eşikleri tanımlanır. Kısa vadeli kuraklıklar tarım ve evsel su kullanımını içerir. Yağış sıkıntısı (meteorolojik kuraklık) bitki mevcut toprak nemi (tarımsal kuraklık) sıkıntısına yol açar. Aynı zamanda doğal ortamları da etkiler ve kuraklığın yoğunluğuna bağlı olarak, artan orman yangını tehlikelerinden de sorumludur. Su yöneticileri için en acil endişeler şunlardır: Kısa vadeli kuraklık, uzun vadeli bir kuraklığın başlangıcını veya su arzını etkileyebilecek mevcut uzun vadeli bir kuraklığın yoğunlaşmasını işaret edebilir veya kısa süreli kuraklık, kapsamlı park ve bahçe bakımı gereksinimleri için tasarlanmamış sistemlerden su kullanımı talebini artırabilir. İkinci durumda, kısa vadeli kuraklık, su kaynağı kapasitesinin aksine su sistemi kapasitesi ile ilgili olduğundan daha önemlidir.

1.6.3.2. Uzun Vadeli Kuraklıklar

Uzun süreli kuraklık, aylar hatta yıllar süren normalin altında yağışların uzatılmış dönemleri olarak tanımlanır. Sık sık yağış açığı olan uzun kuru dönemler mevsim normallerine kıyasla ölçülebilir ve yeraltı suyu seviyelerine yol açtığı için genellikle hidrolojik kuraklık olarak adlandırılır. Su temini, topluluk su sistemlerini ve enerji üretimi, üretim üzerindeki diğer basamaklı etkileri doğrudan etkileyebilirler. Uzun süreli ve yıkıcı etkiye sahip kuraklıklar oldukça sıra dışı ama oldukça gerçek olasılıklardır. Seçilen dönüş dönemlerinde ve sürelerde kuraklık sırasında beklenen normal yağış yüzdesinin haritaları ve tabloları yararlıdır. Geri dönüş süresi veya sıklık analizi, yağış açığına bir dereceye kadar olasılık verir. 100 yıllık getiri süresi değeri, ortalama 100 yılda bir beklenen yağış miktarıdır. Bu büyüklükteki iki kuraklık arasındaki gerçek zaman aralığı değişecektir, çünkü 100 yıllık bir iade döneminde gerçekten ifade edilen, herhangi bir yılda% 1'lik bir meydana gelme şansı olan yağış miktarıdır.

1.6.4. Kuraklığın Etkileri

Kuraklık, insanların iklim değişikliğine etkisiyle birlikte katkıda bulunduğu ve engellenemeyen bir doğal afettir. Uzun yıllar boyunca birikerek yavaş yavaş oluşması tespitini oldukça zor hale getirir. Uzun süreli zaman dilimlerinde hâkim olan kuraklık geniş coğrafyada etkisini hissettirir. İlk olarak yağış eksikliği ile başlayan kuraklık yavaş yavaş tarımsal üretimi ve su ile ilişkisi bulunan bütün sektörleri sıkıntıya sokar. Gıda, sulama, hidroelektrik gibi birçok sektörde arz- talep dengesi sıkıntısı yaşanmaya

başlar. Sıcaklık artışlarının eşlik ettiği durumlarda yangın tehdidini ciddi boyutlara çıkarır. Baraj, akarsu ve göl gibi yüzey sularının ve yeraltı sularının seviyelerinde düşüslere, kuraklığın şiddetinin artması sonucu su kıtlığına varan ciddi su problemlerine sebep olur. Ekonomik açıdan bütün sektörlerde problemler oluştursa da en sıkıntılı sektör kuraklığın ilk etkisini hisseden tarım sektörüdür. Tarıma dayalı üretimlerin azalması ve sekteye uğraması, hayvan otlaklarının daralması ve yem miktarında azalma, üretimlerin miktarının azalması ile daha kalitesiz ürün alımı kuraklığın sonuçlarından bazılarıdır. Tarımsal alanda meydana gelecek üretim sıkıntısı bu alanda çalışan ve geçimin tarımdan sağlayan insanların hayat düzenlerini olumsuz açıdan değiştirir. Gelir dengelerini bozar ve geçim sıkıntısına yol açar. Geçim sıkıntısı ile göç ve şehir nüfuslarında artış başlar.

Akışlarda meydana gelen azalma sonucu hidroelektrik enerji üretiminde düşüşler olur. Suyun hem miktarının hem de kalitesinin düşmesi su kıtlığını ve beraberinde salgın hastalıklara ve gıda kıtlığına sebep olur. Suyun hacimsel azalmasıyla birlikte evsel kullanımlara sunulan suyun fiyatı artar ve temini zorlaşır. Su yönetiminde planlı ve bilinçli dağılım yapılamazsa geleceğe yönelik su sıkıntısı daha da artar. Kuraklığın iyi yönetilememesi tarımsal toprakların verimsizleşmesine ve çölleşmeye doğru süren toprak kaybına sebep olur.

Ekonomik bozulmalar, su kıtlığı ve yiyecek sıkıntısını da ciddi boyutlara ulaştıracak bir afet olan kuraklık bütün dünyada etkisi hissettiren bir doğa olayıdır. İç ve dış politikada büyük sorunlar ortaya çıkmasına ve ülkelerin su yönetimi açısından gerginlikler yaşamasına sebep olabilir. Mümkün olduğunca dengeli bir su yönetimi ile hem tarımsal toprakların verimlerinde büyük kayıplar olmaksızın süreci yönetmek hem de gıda ve su kıtlığına sebep olmadan kuraklıkla savaşmak gerekmektedir.

1.6.5. Kuraklık İndisleri

Kuraklık, bölgesel olarak etki yaratan bir tehlikedir. İklimin etkilerinin bölgesel olmasından kaynaklı yerel olarak varlığı tanımlanabilir. Ancak kuraklığın varlığının yanında etki düzeyi ve bu etkinin gerçekleştireceği ya da gerçekleştirebileceği olumsuz durumların hissedilme seviyesi belirlenmesi gereken durumlardır. Bu yüzden kuraklığın etkilerinin belirlenmesi amacıyla birçok alanda kullanılan indisler geliştirilmiştir. Kuraklığın ilk belirtisi yağışlardaki azalma ile meydana gelen su açığı olsa da tek başına

kuraklığın şiddetini tanımlayamaz. İklimle bağlı bütün parametrelerin kuraklığın oluşmasına ve ilerlemesine katkısı bulunabilir. Atmosferik süreçler birbirleriyle karmaşık bir ilişkiye sahip olduğu için sıcaklık veya nem gibi değişkenlerin etkilerinin dahil edileceği bir gözlem ya da indis daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Ayrıca kuraklık tehlikelerini değerlendirmek ve izlemek ve kuraklıkların etkilerini hafifletmek için şiddet, süre, periyodiklik, alansal kapsam, başlangıç ve bitiş zamanı gibi çeşitli kuraklık özelliklerini tespit etmek gerekir. Bununla birlikte, kuraklık gelişiminin izlenmesi ekonomik ve çevreye duyarlı bölgelerde kritik öneme sahiptir ve girdiler kuraklığa hazırlık ve azaltma planlarında çok önemlidir. Hem konvansiyonel hem de uydu verilerine dayanarak kuraklık endekslerinin kullanımı üzerine birçok inceleme çalışması bulunmaktadır(Hayes vd., 1999).

Kuraklığın farklı alanlarda tanımlanması etkilerinin tarım, hidrolojik süreçler, meteorolojik ve sosyo-ekonomik olaylarla ilgili sonuçlarının daha nitelikli değerlendirmesini sağlamıştır. Benzer şekilde kuraklık indisleri de meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olarak ayrılmaktadır. Çünkü meteorolojik kuraklığın bileşenleri ile hidrolojik kuraklığın bileşenleri farklıdır. Kuraklığın niteliklerine uygun şekilde incelenmesi bölgesel alanda kuraklığın özelliklerinin daha iyi tanımlanmasını sağlayacaktır.

1.6.5.1. Meteorolojik Kuraklık İndisleri

Meteorolojik kuraklık göstergeleri yağış, sıcaklık ve bitki su tüketimi gibi iklimsel değişkenlerle ilişkilidir. Meteorolojik indeksler arasında Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) (Palmer, 1965), Deciles (Gibbs ve Maher, 1967) ve Standart Yağış Endeksi (SPI) (McKee vd., 1993) yer alır. Genellikle, yağış en çok kullanılan parametrelerden birisi olmuştur. Bunun nedeni; su kaynaklarının ölçümünü sağlar, hidrolojik değişkenleri etkiler ve farklı periyotlara ait kuraklıkları tespit etmekte oldukça kullanışlıdır. Ancak, yağış gibi iklimsel parametreler, zamansal ve mekânsal ölçekte tam olarak aynı eşitlikte dağılmayabilir ve çeşitli sebeplerle bağlı olarak veri sürekliliği sağlayamayabilir. Bu eksikliklerin olmaması veya giderilmesiyle, yağış serileri kullanılarak kuraklık hakkında yeterli bilgiyi elde edebileceğimiz kullanışlı birçok endeks bulunmaktadır.

En çok tercih edilen yağışa bağlı hesaplanan indislerden biri SPI (Standart Yağış İndisi)'dir. İstatistiksel olarak tutarlı olması, uzun ve kısa süreli kuraklık etkilerini yansıtmakta başarılı olması ve hesaplamalarının kolay olması kullanımının yaygın olmasındaki temel unsurlardır(Nagarajan, 2009). Aylık yağış verilerini kullanarak 1 aylık periyottan başlayarak 60 aylık ve daha uzun periyotlara kadar değerlendirme yapabilmesi uzun süreli kuraklıklar hakkında bilgi vermektedir.

SPI'in dışında meteorolojik kuraklıkları belirlemede kullanılan birçok indeks bulunmaktadır. BMDI (Bhalme-Mooley Kuraklık İndisi), CPA (Kümülatif Yağış Anomalisi), Çin Z indeksi (CZI), Efektif Kuraklık İndeksi (EKI), Normal Yağış Yüzdesi (NYY) bunlardan sadece birkaçıdır. Meteorolojik kuraklıklar bölgeler arasında yağışın farklılığı ile değişebildiğinde bazı bölgelere özgü kuraklık indeksleri de geliştirilmiştir. İngiltere'de kullanılan DSI (Kuraklık Şiddeti İndisi) ve Macaristan'da kullanılan PAI (Palfai Nem İndisi) bunlara örnektir.

1.6.5.2. Tarımsal Kuraklık İndisleri

Tarımsal veya agro-meteorolojik kuraklık, tarımsal kullanım için su mevcudiyetinin eksikliğinden kaynaklanan tarımsal etkileri ifade eder. Gerçekten de tarımsal kuraklık mahsul yetmezliği olarak tanımlanır ve toprak nemi azalıp bitki büyümesi olumsuz etkilendiğinde ortaya çıkar, bu yüzden mahsul verimi önemli ölçüde azalır. Yağış ile toprağa yağış sızması arasında doğrudan bir ilişki olmasa da su tutma kapasitesi düşük olan topraklar tarımsal kuraklıklara karşı savunmasızdır. Tarımsal kuraklığı tanımlamak ve şiddetini, sıklığını ve başlangıç ve bitiş zamanını belirleyebilmek amacıyla birçok tarımsal kuraklık indisi kullanılmaktadır. Bu indislerden bazıları Toprak Nemi Anomali İndisi (SMAI), Mahsul Nem İndisi (CMI), Tarımsal-hidropotansiyel İndisi (AHP)'dir (Dalezios vd., 2016).

CMI, özellikle tarımsal kuraklık endeksi olarak tasarlanmıştır ve haftalık bazda kuraklık şiddetine ve hafta boyunca bitki su tüketimi açığına veya toprak neminin yeniden dolmasına bağlıdır(Heim Jr, 2002). Hem bitki su tüketimi eksikliklerini (kuraklık) hem de aşırı ıslaklığı ölçer. Uzun kuraklıklardan ziyade kısa dönemli kuraklıkları hızlı tanımlamayı amaçlar ve kısa vadeli değişimlere daha hassastır.

SMAI, küresel çapta kuraklıkları belirlemek amacıyla (Dupuis, 2010) tarafından geliştirilmiştir. Bu indis, Thornthwaite'in nem muhasebesi yöntemine, yağış ile potansiyel evapotranspirasyon izlenmesine dayanır ve suyun hareketini izlemek için kullanılan iki katmanlı bir toprak modeli içinde çalışır ve sonuçta toprak doygunluğunun yüzdelik oranda değerlendirmesi ile hesaplanır.

AHP, mahsulün buharla terlemesinin (ET_{actual}) optimum buhar terimine ($ET_{optimal}$) bölünmesiyle elde edilir. Bu indis, belirli bir araziye ait su tesislerinin su talebini karşılama durumunu ve süresini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir.

Ayrıca, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak bitki örtüsünün izlenmesi, tarımsal kuraklık ve ürünlerin verimlilikleri gibi bölgesel koşulları meteorolojik kayıtlar yerine veri olarak işleyen indislerde bulunmaktadır. Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndisi (NDVI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndisi (EVI), Bitki Sağlığı İndisi (VHI) ve Bitki Suyu Stres İndisi(CWSI) bu yöntemlerden bazılarıdır.

1.6.5.3. Hidrolojik Kuraklık İndisleri

Hidrolojik kuraklık için değişkenler, yeraltı suyu seviyeleri, akarsu akımları, rezervuar depolaması, toprak nemi ve kar paketi gibi su sistemini bileşenleridir. Hidrolojik indisler arasında Yüzey Su Temini İndisi (SWSI), Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (SDI), Standartlaştırılmış Yeraltı Suyu Seviyeleri İndisi(SGI), ve Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi(PHDI) olarak sayılabilir. Su sistemine bağlı göstergeler indislerle hesaplandığında, hidrolojik kuraklığın yavaş yavaş ilerlediğini ve meteorolojik kuraklıktan daha uzun periyotlarda hâkim olduğunu göstermektedir. Mesela, yeraltı suyu sıklıkla kuraklıkta sonraki adım olarak gözlenmiştir ve kuraklığın etkilerinin zayıflamasının anlaşılmasında daha ölçülü bir göstergedir, ancak yeraltı koşullarının ve antropojenik etkilerin zayıf da olsa takip edilip çözümlenmesinde faydalıdır. Akarsu akımları, toprak nemi, yeraltı suyu ve yağış gibi diğer göstergeleri entegre edebilir, ancak insan etkisiyle meydana gelecek sapmaların etkisi görülebilir. Rezervuar seviyelerinin ve rezervuar depolamanın ölçülmesi kolaydır, ancak bunun indislere dönüştürülmesi yansılarda farklılıklara yol açacağından kuraklık koşullarının değerlendirilmesini zorlaştırabilir. PHDI, daha uzun vadeli hidrolojik etkileri yansıtacak şekilde tasarlanmıştır ve SWSI, su tedarik bilgilerini ekleyerek Palmer indekslerinin bazı sınırlamalarını gidermek için geliştirilmiştir. SDI, aylık yüzey akışları ile zaman

serisi oluşturarak SPI'nın yağışlara uyguladığı hesap adımlarını akışlara uygulamıştır. Aynı standartlaştırılmış hesap adımlarını yeraltı suyu seviyelerine uygulayarak elde edilen diğer bir indis SGI, yeraltı suyuna bağlı kuraklık seviyelerine ait bilgiler verir. Kuraklığın ilerlemesi sonucu ortaya çıkan hidrolojik kuraklık, yeraltı suyu, akışlar ve yağışların birbirleri ile ve su döngüsünü etkileyen parametreleri ile ilişkilidir. İndisler hesaplamalarda hidrolojik değişkenlerin birbiri ile ilişkilerinden ziyade sonuçlarını gözlemleyerek kuraklığı tespit etmeyi amaçlar. Tarımsal kuraklıktan sonraki aşama olarak gözlenen hidrolojik kuraklık, kuraklığın en ciddi boyuta ulaştığının göstergesidir. Hidrolojik sistemde ortaya çıkan su açığının eksikliğinin giderilmesi oldukça zordur. Temiz su ihtiyacı, sulama ve insani bütün ihtiyaçların temel kaynağı olarak hidrolojik kuraklık ciddiye alınması gereken ve tedbirlere ihtiyaç duyan bir süreçtir. Su yönetimi açısından iyi bir şekilde yönetilirse su kıtlığına varacak etkilerinin mümkün olduğunca az hissedilmesi ile sonuçlanabilir.

Bu çalışmada hidrolojik ve meteorolojik indisler birlikte kullanılmış, tarımsal kuraklıklarda bu indislere bağlı olarak incelenmiştir.

1.6.6. Yaygın Olarak Kullanılan Kuraklık İndisleri

1.6.6.1. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (Palmer Drought Severity Index-PDSI)

Palmer Kuraklık şiddeti indisi, uzun dönem yağış eksikliği ve beraberinde gözlenen toprak neminin azalması sonucu ortaya çıkan kuraklıkların tespiti ve karakteristiklerinin tanımlanması amacıyla geliştirilen kuraklık indisi (Palmer, 1965). PDSI, yağış, sıcaklık ve toprağın mevcut su kapasitesi kayıtları kullanılarak bir nem dengesi modelinden üretilmiştir. Toprak tabakası düşey kesitte herhangi bir noktadan ikiye bölünür ve üst katmanın 25 mm'lik kısmında kullanılabilir su bulunduğu kabul edilir. Yağışın düştüğü ve buharlaşmanın gerçekleştiği katman üst katmandır. Alt katmanda tutulan suyun miktarı toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerine ve bitkinin su ihtiyacına ve kök derinliğine bağlı olarak değişir. Bu yöntemde toprağın ikiye bölünmesiyle nem yapısının çözümlenmesi amaçlanmıştır. Üst tabakada doyumluğun devam etmesi ya da üst tabaka neminin buharlaşması sınıra yaklaşmadıkça alt tabakanın nem değerlerinde bir değişiklik meydana gelmez. Toprağın su ihtiyacı, potansiyel evapotranspirasyon oluşması ve zeminin doyumluğa ulaşmasıyla karşılanma düzeyine

yaklaşır. Ancak doymun yüzeylerde yağışın akışa geçmesiyle süreç tamamlanmış olur(Alley, 1984, Karl, 1986, Johnson ve Kohne, 1993).

PDSI, potansiyel evapotranspirasyonu Thornthwaite formülleri ile hesaplanması sonucu elde edilen evapotranspirasyon değerlerini, yüzeysel akışın toprakta oluşturduğu evaporasyon ve evapotranspirasyon eksilmeleri ile kıyaslayarak bir oran elde eder. Hesaplanan bu oranlar katsayı olarak kullanılır ve elde edilen katsayılar kullanılarak CAFEC yağışı hesaplanır. Hesaplanan yağışların meydana gelen yağışlara göre farkları kullanılarak oluşturulan ampirik denklemlerle eksiklik ya da fazlalık varsa belirlenir. Bu eksiklik ya da fazlalıklar ile kuraklığın şiddeti tespit edilir. PDSI, özellikle ABD ve Kanada tarafından sıklıkla kullanılan ve tavsiye edilen bir indistir (Hayes, Svoboda vd., 1999, Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005).

1.6.6.2. Efektif Kuraklık İndisi (Effective Drought Index-EDI)

EDI, kuraklığın şiddetini, başlangıç zamanını ve hâkim süresini tanımlamak için hesaplamaların yapıldığı yağışa bağlı indislerden biridir(Byun ve Wilhite, 1999). Ağırlıklandırma yöntemiyle kümülatif günlük yağışa dayanan bir yöntemdir. EDI kullanarak kuraklığın analizi için etkili yağış veya EP kavramını anlamak şarttır. EP miktarı, zamanla azalan fonksiyon kullanılarak günlük yağış değerlerinin toplanmasıyla hesaplanır. Aslında, her gün için hesaplanan EP, belirli günlük yağışların ve önceki günlerin yağışlarının birikimli bir fonksiyonudur, bu nedenle son günün yağışları, önceki yağışlara kıyasla EP'de büyük ağırlık kazanır.

Efektif Kuraklık İndisi için gereken diğer bir tanım normale dönüş yağış miktarıdır. bu değer normal yağış olarak bilinen değerden hesaplama yapılan dönemdeki yağışın arasındaki yağış farkı olarak ifade edilebilir. Aynı zamanda bu değer ile kuraklık şiddetinin belirlenmesinde anahtar konumdadır. Ayrıca hesaplama periyodu olarak aylık periyot kullanılabilir. Birçok araştırmacı kuraklık analizi çalışmalarında Efektif Kuraklık İndisini kullanmışlardır (Akhtari vd., 2006, Morid vd., 2007, Kim vd., 2009, Dogan vd., 2012, Wambua vd., 2014, Ekhtiari ve Dinpashoh, 2019).

1.6.6.3. Yüzey Suyu Tedarik İndisi (Surface Water Supply Index-SWSI)

Yüzey Suyu Tedarik İndisi (SWSI) çok değişkenli hidrolojik kuraklık endekslerinden biri (Parry vd., 2007). Palmer Kuraklık Şiddet İndisini (PDSI) tamamlayıcı bir indeks olarak geliştirilmiştir. PDSI, geliştirildiğinde, Amerika Birleşik Devletleri'nin büyük bir bölümünü kapsayan çalışmalarda oldukça iyi sonuçlar göstermiş, ancak hidrolojik etmenlerden, PDSI' nin hesaba katmadığı kar birikiminin ve nehir akımlarının etkin olduğu batı bölümlerinde, sonuçlar beklentilerden uzaktı. SWSI esas olarak kar yağışının eriyip akışa katıldığı bölgelere daha çok uyum sağlayacak, dağlık alanlarda etkin olarak kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden, SWSI ve PDSI, birlikte kullanıldığında, genel nem koşullarını tamamen ve doğru bir şekilde yansıtır. SWSI, su kaynakları mühendislerinin farklı havzalardaki su tedarikini karşılaştırmalarına ve ayrıca ABD'nin farklı bölgelerindeki kuraklık şiddetini değerlendirmesine yardımcı olan indislerden biridir. SWSI' nin hesaplanması için temel veri ihtiyacı yağış, nehir akımları ve rezervuar su seviyelerinin geçmiş zaman serileri ve her tür veri serisi ve ayrıca seçilen tüm havzalar için aylık zaman serisi kar paketi ve frekans dağılımıdır. Havzaların kıyaslanmasında ağırlıklandırma faktörü kullanılarak sonuçlar değerlendirilmektedir. SWSI, PDSI ile aynı sınıflama sistemini kullanmaktadır(Dezman vd., 1983).

SWSI bölgesel ölçekte kullanımında daha avantajlıdır, spesifik olarak daha etkili ve tatmin edici sonuçlar vermekle birlikte alan genişledikçe havzalar arası farklı topografik birleşimlerin bulunduğu bölgelerde ve havzalarda avantajını kaybetmektedir(Hayes vd., 2007).

1.6.6.4. Standart Yağış ve Potansiyel Buharlaşma İndisi (The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)-SPEI

Kuraklık analiz çalışmalarında yeni indisler geliştirmek ve var olan indislerin eksik olduğunu düşündükleri alanlarını iyileştirerek daha uyumlu hale getirmek için çalışmalar yapmışlardır. Genellikle, geliştirmelerin yapıldığı indisler ilk gelişen ve sıklıkla kullanılmış indislerden olan Standart Yağış Endeksi (SPI) ve Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) olmuştur. Standart Yağış ve Potansiyel Buharlaşma İndisi (SPEI) indisi de bunlardan biridir. Vicente-Serrano(Vicente-Serrano vd., 2010) tarafından geliştirilen SPEI hem yağış hem de sıcaklık verilerini kullanmaktadır ve çok ölçekli

karakterize etme kapasitesi ile birleştirme avantajına sahiptir. SPI aylık yağış verileri ile hesaplanırken, SPEI yağış ve Potansiyel Buharlaşma (PET) arasındaki aylık farkın hesaplanmasıyla elde edilmektedir. PET'in dolaylı olarak elde edilmesi için, güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem verileri ile hesaplanabilen Penmann-Monteith (PM) yöntemi veya sadece aylık ortalama sıcaklık verileri ile hesaplanabilen Thornthwaite yöntemi kullanılabilir. Thornthwaite yöntemi daha az veri ile hesaplanabildiği için araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir(Nedalcov vd., 2015, Gümüş vd., 2016, Bae vd., 2018).

1.6.6.5. Yağış Kuyrukları-Deciles

İstatistiksel olarak, Bir veri setinin sıralanması ve dizinin 10 eşit parçaya bölünmesiyle elde edilen kısmının ölçüsü olarak bilinen Deciles, kuraklık analizinde yağış veri setine uygulandığında bu ismi almaktadır. Yağış verilerinin %10'luk dilimlere ayrılması ile kuyruk adı verilen parçalar oluşturulur. Gözlenen yağışın en düşük %10'luk bölümü birinci kuyruk olarak tanımlanan, aşılamayan yağışı temsil eder. Yağış verilerinin sıralanmasıyla oluşan dizinin orta kısmında yer alan beşinci kuyruk, medyanı temsil eder. Uzun periyotlu veriler ile hesaplamalarda tutarlılığı daha yüksek olmaktadır. Normal yağış yüzdesi metodunun gelişmiş bir versiyonu olarak ortaya çıkan Deciles metodu sıklıkla kullanılan bir indistir(Simmonds ve Hope, 1997, Lana ve Burgueno, 2000, Keyantash ve Dracup, 2002, Pandey vd., 2008, Barua vd., 2011).

1.6.6.6. Standart Yüzeysel Akış İndisi (The Standardized Runoff Index-SRI)

Su kaynaklarına etkiyen kuraklığın tespit edilebilmesi için yağışların yanında akışlarda önemlidir. Meteorolojik verilerle yapılan kuraklık analizlerinde kullanılan yağış ve sıcaklık verileri ile tespit edilen kuraklığın akışlara etkisinin belirlenebilmesi için geliştirilen indislerden birisi Standart Yüzeysel Akış İndisi (SRI)'dir. Yağışa bağlı SPI indisini temel alarak geliştirilmiştir(Shukla ve Wood, 2008). SPI'dan farkı aylık yağışlar yerine akışları kullanmasıdır. Aylık akışların ortalama akıştan farkının standart sapma değerine bölünmesiyle elde edilen indis değeri SPI ile aynı sınıflama sistemini baz alarak kuraklık şiddetini belirler. İstenilen zaman ölçeğinde yapılabilen SRI, 3-6 aylık periyotlarda meteorolojik kuraklık, 12-24 aylık periyotlarda hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesinde kullanılır. SRI ile SPI arasında zamansal ölçekte bir korelasyon bulunmaktadır (Shukla ve Wood, 2008).

1.7. Kuraklık Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kuraklık, dünyada bütün bölgeleri tehdit eden ve yavaş ilerleyen sinsi bir tehlikedir. Bu yüzden her ülkenin ya da devletin tarım ve su kaynaklarını korumak ve su kıtlığına varmadan problemleri çözümlmek amacıyla meydana gelmiş kuraklıkları tespit ederek etkisini değerlendirmek ve geleceğe yönelik tahminlerle birlikte kuraklık izlemesi yapmak 21. Yüzyılda artık bir gereklilik olmuştur. Kuraklığın her alanda farklı etkisi bulunması sebebiyle meteorologlar sıcaklık, yağış ve nem gibi meteorolojik parametrelerin değişimini; su kaynakları mühendisleri akış-yağış ve yer altı suyu beslenmesi gibi geleceğe yönelik kaynakların etki düzeyini, ziraatçılar tarımsal açıdan etkilenme sürecini değerlendirmiş ve insan yaşamını derinden etkileyen su ve kuraklık birleşiminin seyrini ve etkilerini araştırmışlardır. Kuraklık izlemelerinde kuraklığın bazı parametrelerinin bilinmesi kuraklığın tehlike boyutunu tanımlamak açısından gereklidir. Bu parametreler kuraklık uzunluğu-şiddeti, etkilediği alan ve tekerrür aralığıdır. Kuraklık tanımlaması üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda kuraklığın tehdit ettiği alanların büyümesi ve sel gibi ekstrem olayların sıklıkla meydana gelmesi şeklinde sayılabilecek birçok sebepten ötürü hem kuraklığın tespiti hem de kuraklık tehdidi altında yaşamsal sürdürülebilirlik amacıyla farklı boyutlara ayrılmıştır. Kuraklığın tespiti için son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemler arasında kuraklık indisleri ile kuraklık ve karakteristiklerini belirlemek en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak, bu kuraklık indislerinin hesaplamalara dahil etmesi gereken birçok parametreye ihtiyacı vardır. Bu parametreler meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar için farklıdır. Örneğin meteorolojik olarak yağış, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve buharlaşmanın yanında hidrolojik kuraklıklar için akarsu akışı, yeraltı kaynaklarının seviyeleri ya da yeraltı suyunun durumu ve kar örtüsü gibi parametreleri bilmek gereklidir. İlk geliştirilen indisler yağış eksikliği ya da yağış eşikleri ile belirlenmiş seviyeleri kuraklık belirtisi olarak izlemiş ancak sadece yağış eksikliğinin kuraklığı bildirmedi yeterli olmadığını görmüşlerdir. Ayrıca bu indisler sadece bir bölgeye özgü tanımlanması sebebiyle başka bir topografya için geçerli olmamaktadır. Bu aynı zamanda bölgesel bir karşılaştırma yapılabilirliğini de engellemektedir. Böyle indislerle ne zamansal ne de bölgesel bir izleme yapılamamaktadır.

İndislerin ilk gelişimi olarak görülen yöntem Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)' dir (Palmer, 1965). Kendi içinde bir sistematığı olması ve zamansal ve mekansal özellikleri

tanımlamaya imkân vermesi sebebiyle oldukça ilgi görmüştür. Özellikle ABD’de sıklıkla kullanılan indislerden biridir(Heim Jr, 2002). Ardından, kuraklıkları daha iyi tanımlamak ve meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkları tespit edip daha hızlı bir şekilde önlem alabilmek adına kuraklığın farklı alanlara etkisini izleyen yeni indisler geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinen ve kullanılanı Standart Yağış İndisi (SPI)’dir (McKee, Doesken vd., 1993). Sadece yağış verisi ile hesaplanabilen ve zamansal ve konumsal özellikleri ile daha esnek bir çalışma profiline sahip olan SPI, geliştirilen birçok kuraklık izleme yöntemi içinden hala en çok kullanılan indislerden biridir(Hayes, Svoboda vd., 1999, Wilhite ve Buchanan-Smith, 2005).

Dünyada ve Türkiye’de SPI ile yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bonaccorso vd., (2003), Sicilya bölgesinde yaptıkları çalışmada SPI zaman ölçeklerinin hassasiyet düzeylerinin ölçeğe göre değiştiğini söylemişlerdir. Bordi ve Sutera, (2007), SPI’nın birden fazla zaman ölçeğinde kuraklığı ve nemlilik durumunu izleyebilen ve farklı hidrolojik rejimde hüküm süren bölgelerin iklim koşullarını karşılaştırabilen uygun ve yararlı bir araç olarak ifade etmişlerdir. (Hayes, Svoboda vd., 1999), ABD’de kuraklık izleme yöntemleri açısından yaygın olarak kullanılan PDSI’ in karmaşık yapısı ve sınırlandırmaları olduğunu ve bu sebeple SPI’ nın kullanımının basitliği ve esnekliği ile kuraklık izlemelerde daha fazla tercih edilmeye başlandığını belirtmiştir. 1996’da ABD’nin farklı bölgelerinde yapılan kuraklık izleme çalışmalarında PDSI’ dan bir ay önce kuraklığı tespit ettiğini bu durumun kuraklık ve su yönetimi aşamasında oldukça dikkate değer bir özellik olduğunu ifade etmiştir. SPI’ın sunduğu özelliklerle 1996’dan itibaren daha çok kullanılacağını ifade etmiş ancak tek başına yeterli olamayacağını da belirtmiştir.

(Wilhite, 1996), 10 adımdan oluşan bir kuraklık eylem planı hazırlayarak bir bölge ya da ülkede kuraklıkla karşılaşılması durumunda yapılabilecek adımları anlatmış ve adımların bölgeye göre artabileceğini de eklemiştir.

(Heim Jr, 2002), ABD’de kullanılan kuraklık indisleri üzerine yaptığı çalışmada indislerin ABD için kullanılabilirliğini araştırmış ve çalıştığı indislerin olumlu ya da olumsuz yönlerinden bahsetmiştir.

(Keyantash ve Dracup, 2002), farklı kuraklık türleri tespit etmek amacıyla geliştirilmiş kuraklık indislerinden en çok kullanılan 14 indisini gelişmişlik, uygulanabilirlik ve

şeffaflık olarak ayırdığı başlıklarla incelemiş ve değerlendirmede kuraklık tespitinde SPI'nin temin edilebilir veriye bağlı olması, farklı zaman ölçeklerinde kullanılabilmesi ve yoruma açık olmasının en iyi indis olmasında önemli özellikler olduğunu belirtmiştir. Sadece kuraklık tespitinde değil, kuraklık şiddetini tespit etme aşamasında da başarılı olduğunun altını çizmiştir.

(Ntale ve Gan, 2003), Doğu Afrika'yı örnek olarak kullanarak, kuraklık olaylarını bölgesel olarak tespit etmek amacıyla sekiz değerlendirme kriteri belirlemiş ve bilinen indislerden üç indis (PDSI, SPI, BMI) seçerek en tutarlı olanı bu şartlara göre belirlemeye çalışmıştır. Bu şartlar; kuraklık indisinin değişkenliği ve istatistiksel karakteristikleri, önceden yaşanmış bir kuraklığı belirleme yeteneği, bölgesel iklim koşullarına uyum sağlama kabiliyeti, mekansal ölçekte değişmezlik özelliği, farklı zaman adımlarında uygulanabilirliği, verilerin temin edilme kolaylığı, yoruma açık olması olarak belirtilmiştir. Modifiye ettiği indislerden, SPI'nin Normal SPI'den daha tutarlı sonuçlar verdiğini ve Doğu Afrika'da kullanılmasının faydalı olacağını bildirmiştir.

(Shah vd., 2015), Gujarat'ta 40 yıllık yağış verisi ile SPI'nin oluşan kuraklıklarla tutarlılığını araştırdıkları bir çalışma sunmuşlar ve SPI'nin tespit ettiği kuraklıkların aşırı kuraklık durumları hariç büyük oranda geçmişte meydana gelen kuraklıklarla örtüştüğünü söylemişlerdir.

(Rahman ve Lateh, 2016),Bangladeş'in meteorolojik kuraklık izlemesi için yağış, standart yağış indisi (SPI) ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) temelinde çalışma yapmıştır.1970-2010 dönemi için kuraklık şiddetini belirlemede SPI ve mekansal dağılımını belirlemek amacıyla ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon ile birlikte GIS teknikleri kullanılmıştır. 3 ve 6 aylık periyotlarda 1972, 1978, 1981, 1982, 1995, 1997, 1999, 2004, 2006 ve 2010 yıllarında meydana gelen kuraklıkların en etkili kuraklıklar olduğunu ve bu yıllardan 1972, 1978, 1982, 1995, 1999 ve 2006'nın en şiddetli kurak dönemler olarak tespit etmiştir. Ayrıca, orta şiddetli kuraklık dönemlerinin şiddetli ve çok şiddetli kuraklıklara nispeten daha sık meydana geldiğini belirtmiştir. SPI-3 Ocak dönemi şiddetli kuraklık oluşumuna daha eğilimli iken SPI-3 Nisan dönemi aşırı kuraklık oluşumuna daha eğilimli bulunmuştur. Öte yandan, SPI-3 Ocak, SPI-3 Nisan

ve SPI-6 Nisan kuraklık tehlike haritaları, ülkenin kuzey-batı, batı ve güney-batı bölgelerinde yüksek ve çok yüksek tehlikeli alanların bulunduğunu göstermiştir.

(Livada ve Assimakopoulos, 2007), Yunanistan geneline yayılmış 23 istasyondan alınan 51 yıllık yağış verilerini kullanarak kuraklık araştırması yapmışlar ve SPI'nın 3, 6 ve 12 aylık periyotlarını değerlendirme ölçeği olarak kullanmışlardır. 3 ile 6 aylık zaman ölçeğinde hafif ve orta kuraklıkların kuzeyden güneye ve batıdan doğuya doğru azaldığını ancak güney kesimlerdeki şiddetli kuraklığın ülkenin geneline göre daha yüksek olduğunu ve 12 aylık zaman ölçeğinde ülke genelinde şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin sıklığı oldukça az olduğunu gözlemişlerdir.

(Wang vd., 2017), Minjiang Nehri havzasında 1960-2006 döneminde 4 akım istasyonu ile 26 yağış istasyonundan aylık yağış verilerini kullanarak Standartlaştırılmış Yağış İndisi'nin (SPI) sel ve kuraklık olaylarını belirleme yeteneğini araştırmışlardır. Havzada gözlenen maksimum korelasyonlu SPI serileri ile geçmiş dönemlerde meydana gelen sel ve kuraklık olaylarının uyumu kontrol edilmiştir. 1-3 aylık SPI sonuçları ile nehir deşarjı arasında yüksek Pearson korelasyonları tespit edilmiş ve 2 aylık zaman ölçeğinde maksimum korelasyon gözlemlendiği bildirilmiştir. SPI'nin daha genel selleri tespit etmede eksiklikleri olsa da Minjiang Nehri havzasındaki en büyük altı tarihi sel olayı arasında beş sel 2 aylık SPI ile tespit edildiğini söylemişlerdir. Bu sonuçlar ışığında SPI'nın geçmiş verilerle tutarlı olan önemli kuraklık olaylarını da tanımlaması, Minjiang Nehri havzasındaki büyük sel ve kuraklık olaylarının tanımlanmasında etkili bir gösterge olduğunu söylemişlerdir.

Mahmoudi vd. İran'daki 41 sinoptik istasyonun 28 yıllık bir süre boyunca (1985-2013) aylık yağış verilerini kullanarak İran'ın kuraklık dönemleri en iyi belirleyen kuraklık indisini araştırmışlardır. Bu amaçla 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık periyotlarda SPI, PN, ZSI, DI, CZI, EDI ve MCZI dahil olmak üzere yağışa dayalı yedi kuraklık indisi kullanılmıştır. Ayrıca temel hesaplama indisi olarak EDI kullanılmış ve kuraklık sınıflarını diğer indislere göre daha iyi gösterdiği için EDI'nın tercih edildiği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan indislerden ZSI, SPI ve CZI olmak üzere üç indis davranışlarında en yüksek tutarlılığı göstermiştir. Ayrıca, 6-, 12 ve 24 aylık zaman çizelgeleri, yukarıda belirtilen indislerde çok benzer kuraklık sonuçları göstermiştir. Ayrıca, DI ve PN endekslerinin

davranışlarının diğer indislerin davranışlarıyla tutarsız olduğu ve bu indislerin İran'daki kuraklığın izlenmesi için uygun olmadığı konusunda fikir belirtmişlerdir.

(Mishra vd., 2009), Kuraklığın karakteristikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında kuraklığın zaman aralığı, geri dönüş süresi ve kuraklıkların geçiş sürelerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kuraklık indisi olarak SPI kullanmışlar ve SPI zaman aralıklarının kuraklığın olasılıksal özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu söylemişlerdir.

(Paulo vd., 2003), Portekiz'in güney bölgesi Alentejo'da bölgesel ve yerel bazda kuraklık analizleri yapmak için SPI ve Gidişler Teorisini kullanmışlar ve iki yöntemle göre sonuçların farklı olsa da uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. 3 aylık ve 12 aylık periyotlarda yaptıkları analizlerde SPI'nın yerel ve bölgesel kuraklıkları karakterize edilmesinde ve kuraklığın başlangıç ve bitişinin ifadesinde tutarlı bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca bölgesel analizlerde SPI'da orta ve çok şiddetli kuraklıkların öncesinde birkaç aylık dönemi kapsayan hafif kuraklıkların geldiğinin sıklıkla gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

(Adib ve Marashi, 2019), 1954 ile 2016 yılları arasındaki 40 meteoroloji istasyonundan verileri kullanarak bölgede meteorolojik kuraklığı araştırmışlardır. Meteorolojik kuraklıkları 3-, 6-, 9- ve 12 aylık periyotlarda değerlendirmek için Standart Yağış Endeksi (SPI) ve bölgesel analiz için L moment kullanmışlar ve elde edilen sonuçlarla kuraklık bölgeleme haritaları hazırlamışlar. Farklı periyotlarda çalışmaların meteorolojik kuraklıkla birlikte hidrolojik kuraklık için yapılmasını ve diğer kuraklık indisleri ile sonuçların değerlendirilmesini de tavsiye etmişlerdir.

(Pai vd., 2011), Hindistan genelinde 458 istasyondan elde edilen yağış verilerine Normal Yağışın yüzdesi (PNP) ve Standart Yağış İndisi (SPI) uygulayarak kuraklık tanımlamaya çalışmışlar. PNP ile SPI 'ın kurak yılları belirlemede neredeyse benzer sonuçlar gösterdiğini ancak PNP'nin ülke genelindeki uygulamalarda kuraklık şiddetini daha yüksek göstermeye meyilli olduğunu ifade etmişlerdir. Özellikle Güneybatı Muson etkisindeki bölgede SPI'nin ülke çapında kullanılmaya daha uygun bir indis olduğu ve normalleştirilmiş bir indis olması sebebiyle kuraklığı veya kuru koşulları temsil etmek için kullanılan şekilde, aşırı yağış veya nemli koşulları temsil etmek için kullanılabilmesinin problem oluşturmadığını söylemişler. Ayrıca trend analizlerinde

Kerala ve Chhattisgarh'ın bazı bölgeleri SPI serilerinde azalan eğilimler ve orta ve yüksek yoğunluktaki kuraklıkların nispeten yüksek olasılığa sahip olduğunu göstermiştir.

(Pathak ve Dodamani, 2020), Hindistan'ın Ghataprabha Nehri Havzası üzerindeki yıllık ve mevsimsel yağış trendini ve meteorolojik kuraklık eğilimlerini incelemişler. Çalışma süresi boyunca çok sayıda orta ve şiddetli kuraklık gözlemlendiğini ve havzanın doğu kısmının SPI'nin tüm zaman ölçeklerinde en fazla kuraklık frekansına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Eğilim analizi sonuçları, önemli negatif SPI eğilimlerine sahip istasyonların SPI zaman ölçeği ile artmakta olduğunu ve bunun da daha uzun süre ve şiddette kuraklıklara yol açabileceğini söylemişler. Çalışmadan, SPI'nin negatif eğiliminin, SPI zaman ölçeği arttıkça havzanın batı kısmından doğu tarafına doğru hareket ettiği kaydedilmiş ve yağış eğilimi ile SPI eğilimi arasında yüksek derecede (0,91 ile 0,97 arasında) ve yağmurlu gün eğilimi ile SPI eğilimi arasında orta derecede (0,67-0,7) korelasyon tespit etmişlerdir. Bu durumun yağış eğiliminin SPI eğilimlerini etkili bir şekilde yakalayacağını göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.

(Rahman vd., 2017), Barind bölgesinde 1971-2011 döneminde kuraklığın yeraltı suyu tablası (GWT) üzerindeki etkilerini, Standart Yağış Endeksi (SPI) ve Mann-Kendall (MK) Trend Testi kullanılarak aralarındaki ilişkiyi araştırmışlardır. SPI değerlerindeki eğilimler, bölgenin kuraklığa karşı önemsiz bir eğilime sahip olduğunu ve hafif ve orta derecede kuraklığın arttığını göstermektedir. GWT derinliği yağışlı mevsim SPI değerleri ile güçlü bir korelasyon gösterdiğini ve böylece GWT değerlerinde düşüş ile yükselen SPI değerlerinin uyumlu olduğunu söylemişlerdir. Azalan SPI değerlerinde de tersinin gözlemlendiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, 2000 yılından sonraki dönemde, pozitif SPI değerlerinde bile GWT derinliği sürekli arttığını ve bunun nedeninin kuraklık eğilimlerinden ziyade yeraltı suyunun aşırı kullanımı ve tarım arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler olduğunu belirtmişlerdir.

SPI, kuraklık çalışmalarında kendine geniş bir çalışma alanı bulmuş ancak, sadece yağışa bağlı olmasının tek yönlü bir izleme olduğu da düşünülmüştür. Kuraklık üzerine yapılan çalışmalarda daha farklı parametrelere bağlı indisler geliştirilmiş ve kuraklığın yağışla büyük oranda ilgili ancak, başka parametrelere de bağlı olduğu ifade edilmiştir. Son dönemlerde bilgi sistemlerinin gelişmesinin de etkisiyle uzaktan algılama

sistemlerine bağılı birçok indis ile kuraklık izlemede geliştirilen 100'den fazla yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler bazen bölgeye özgü olarak geliştirildiği gibi, bazen de parametreler ya da bilgiyi işleyişi değişmektedir. Bilim adamları bu indisler üzerine benzer veya eksik yönlerini belirten birçok çalışmada bulunmuş ve birçoğunun avantajlı ve dezavantajlı yönlerini belirterek kuraklık izlemede çalışan birçok araştırmacıya kaynak sağlamışlardır (Guttman, 1998, Heim Jr, 2002, Keyantash ve Dracup, 2002, Morid vd., 2006, Hayes, Alvord vd., 2007, Mishra ve Singh, 2011). Bütün bu çalışmalarda kuraklığı tam olarak tanımlayan bilim adamlarının fikir birliğine vardığı tek bir indis sunulmamıştır. Bölgesel ve zamansal analiz konusunda indislerin problemi çözme yetenekleri ile alakalı tavsiyeler farklılaşmıştır.

(Keyantash ve Dracup, 2002, Ntale ve Gan, 2003, Barua, Ng vd., 2011), bir kuraklık indisinin çalışmaya uygun olması için indisin hassasiyetinin yeterli olması, doğru sonuçlara ulaşması, karmaşıklıktan uzak ve veri teminin kolay olması, herkes tarafından kullanılabilmesi, kapsamlı ve gelişmeye açık olması ve başka çalışmalarla birleştirilebilir veya ileri taşınabilir olması gerektiğini söylemişlerdir.

(Byun ve Wilhite, 1999), kuraklığın tanımlaması üzerine yaptıkları çalışmalarında mevcut bazı kuraklık indislerinin eksiklikleri ile yetersizliklerini belirlemiş ve yağışın indislerin hesaplamalarında kullanılacak uygun veri olduğunu akış ve buharlaşma gibi verilerin hassasiyetinin yetersiz olduğunu ifade etmiş ve günlük yağışları kullanarak hesaplamalar yapan farklı bir indis önermişlerdir.

(Dalezios vd., 2016), meteorolojik kuraklık ve kuraklığın tanımlanması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deciles, PDSI, SPI ve SPEI gibi birçok indisi incelemiş ve SPI'nın Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tavsiye edildiğini ve yağış verisine dayanması ile esnek bir şekilde kullanımının olduğunu ifade etmişler ancak tek başına kullanılmasından ziyade farklı kuraklık indisleri ile kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir.

Farklı parametrelerle kuraklık tahmini ve değerlendirmesi yapabilen birçok indis geliştirilmiş ve araştırmacılar tarafından özellikle iklimin farklı etkilerini görmek amacıyla sıklıkla kullanılmıştır.

(Tsakiris vd., 2007, Vicente-Serrano, Beguería vd., 2010), yağışın yanında potansiyel evapotranspirasyonun (PET) da dikkate alındığı indisler önermiş ve özellikle bu indislerin SPI ile birlikte sıklıkla kullanımı görülmüştür. Buharlaşma etkisinde bulunan bölgelerde SPI'a göre daha hassas olduklarını ifade etmişlerdir. Birçok çalışmada indislerin birbiriyle uyumu üzerinde durulmuştur (Gurrapu vd., 2014, Masud vd., 2015, Xu vd., 2015, Lweendo vd., 2017).

(Liu vd., 2018), Kuzey Çin Ovasında yaptıkları kuraklık izleme çalışmalarında PDSI, SPI ve SPEI indislerinin karşılaştırmış ve özellikle bu indisler arasında ve bölgesel ölçekte tarımsal kuraklığın performanslarını izlemişlerdir. SPI ve SPEI'nin uzun vadede kısa vadedekinden birbiriyle daha uyumlu olduğunu ve SPI ve SPEI indisleri ile PDSI aralarında kuraklık zamanlarını tespit aşamasında gecikmeler olduğunu ancak uzun dönemli periyotlarda (12-24 ay) gecikmelerde azalma eğilimi olduğu belirtmişlerdir. Tarımsal kuraklıkların izlenmesinde SPI ve SPEI arasında küçük farklılıklar tespit edilmiştir. Sonuçların daha tatmin edici olması için kuraklık izlemede çok sayıda indis ile analizlerin yapılmasını önermişlerdir.

(Tirivarombo vd., 2018), sosyoekonomik geçim kaynaklarının çoğunun suya bağlı olduğu Kuzey Zambiya'da bulunan Kafue Havzası'nda iki farklı kuraklık indisini karşılaştırmış ve yağışa dayalı Standart Yağış İndeksi (SPI) ile yağış ve sıcaklığa bağlı indis olan Standart Yağış Buharlaşma İndeksi (SPEI)'nin kuraklık izlemelerindeki performanslarını araştırmışlar. İki indisin zaman serisi grafikleri (1960-2015) karşılaştırılarak, her iki indis için kuraklıkların zamansal değişimini elde edilmiş ve kuraklığın varlığını ve yönünü göstermede uyum sağladıklarını ancak kuraklıkların şiddeti ve süresi konusunda farklılıklara sahip olduğu ifade edilmiştir. SPI'ın aşırı kuraklıklara karşı daha hassas olduğunu da eklemişlerdir.

(Khalili vd., 2011), yağışa dayanan standart yağış endeksinin (SPI) ve yağış oranının potansiyel buharlaşma- terleme (ET_0) üzerinden kullanılmasına dayanan keşif kuraklık endeksinin (RDI) benzerlik ve farklılıklarını araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. 3 aylık, 6 aylık ve 12 aylık SPI ve RDI zaman serilerinin kuraklık özellikleri tespit edilmiş ve Markov zincir sırası bağımlılıkları Log-olasılık, AIC ve BIC testleri ile araştırılmıştır. Kararlı durum olasılıkları ve Markov zinciri karakteristikleri, yani farklı kuraklık sınıflarında beklenen kalma süresi ve "Normalin Yakınına" sınıfına ulaşma

süresi araştırılmıştır. Sonuçlara göre, her iki indisin de genel olarak benzer bir sonuçlara ulaştığını; özellikle de birinci dereceden Markov zincir bağımlılığına sahip olduğunu belirtmişlerdir. RDI ve SPI sonuçlarında kuraklığın varlığını tespit etmede farklılık olmasa da kuraklığın şiddeti ve süresi gibi karakteristiklerde farklılıklar gözlenmiştir. Bu durumun RDI'nın iklimsel hassasiyete daha duyarlı olmasından kaynaklandığını söylemişlerdir.

(Merabti vd., 2018), SPI ve RDI kullanarak Cezayir'in Kuzeydoğu bölgesinde yağış-sıcaklık verileri ile 3, 6 ve 12 aylık üç ayrı zaman ölçeğinde kuraklığın şiddetini araştırmışlardır. Her iki endeks de tutarlı ve benzer bir davranış göstermiştir, ancak RDI'nın, küresel ısınmanın etkilerini dikkate alma yeteneğinden kaynaklanabilecek güney ve daha kurak alt bölgede daha şiddetli ve ılımlı kuraklıkları tanımlamakta daha iyi olduğunu belirtmişler. RDI sonuçları zaman ölçeklerine göre oldukça homojendir ve çeşitli iklimler arasında SPI ile karşılaştırıldığında daha küçük farklılıklar gözlemlenmiştir. Her iki endeksin davranışını daha iyi anlamak için daha uzun zaman serileri kullanan Cezayir kuzeyini kapsayan daha fazla değerlendirme yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

Asadi Zarch vd., (2015) kuraklık izlemelerinde kullanılan verilerde yağış ve Potansiyel Evapotranspirasyon bileşeninin kullanılmasının sonuçlara olan etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada yağışa dayalı indis olarak SPI, Yağış ve PET'e dayalı indis olan RDI (Reconnaissance Drought Index) tercih edilmiş ve kurak bölgelerde SPI ve RDI'nın daha uyumlu olduğunu ancak nemli bölgelere geçiş yapıldıkça aralarındaki farkların arttığını ifade etmişlerdir. Yarı-kurak ve nemli bölgelerde RDI'nın SPI'a göre daha fazla kuraklık işaret ettiğini ve aralarındaki farklılığın 1998'den itibaren daha belirgin olduğunu söylemişlerdir. Elde edilen sonuçları, iklim değişikliği karşısında, hidrolojik döngüde önemli bir bileşen olan PET'in kuraklık modellemesinde göz ardı edilmemesi gerektiği şeklinde yorumlamışlar.

Byakatonda vd., (2018), yaptıkları çalışmada SPI ile SPEI indislerini karşılaştırmışlar. SPI'nın kış aylarında kuraklık şiddetini daha fazla tahmin ettiğini ve SPEI'nın ise SPI ile karşılaştırıldığında mekânsal kapsamının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, SPEI'nın nemli bölgelerde daha tutarlı tahminlere ulaştığını ve SPI ile SPEI arasındaki korelasyonun %50'den fazla hatta 12 aylık zaman ölçeğinde

%96 olduğunu ifade etmişlerdir. Yarı kurak bölgelerde PET etkisinden dolayı SPEI'nın daha uygun indis olabileceğini söylemişlerdir.

(Barua, Ng vd., 2011), Victoria'daki Yarra Nehri havzası için, Normalin yüzdesi (PN), Deciles, Standart Yağış Endeksi (SPI), Yüzeysel Su Temini Endeksi (SWSI) ve Toplam Kuraklık Endeksi (ADI) kullanarak tarihsel kuraklıklarda modellerin performanslarını karşılaştırmıştır. Performansların karşılaştırılması için şeffaflık, izlenebilirlik, gelişmişlik, tutarlılık ve kapsamlılık kriterlerini esas almışlardır.

(Banimahd ve Khalili, 2013), araştırmalarında, SPI, RDI, EDI ve SPEI meteorolojik kuraklık endeksleri arasındaki olası benzerlikler ve farklılıklar, farklı iklim bölgelerinden elde edilen veriler kullanılarak oldukça kapsamlı bir karşılaştırma yapmışlardır. EDI hariç indislerin 3 aylık dönem dışında tüm iklim bölgelerinde anlamlı korelasyon gösterdiğini ifade etmişler. Bütün istasyonlarda, kuraklık indisleri, çalışma süresi boyunca (1951-2011) toplam kuraklık olaylarının sayısını tespit etmede benzer şekilde davranmış ancak kuraklık şiddetini göstermede farklılıklar gözlenmiştir. Kuraklık şiddeti belirlemede SPEI en şiddetli kuraklığı gösterirken, EDI en düşük kuraklık olaylarını tespit etmiştir. İndisler arasındaki korelasyon açısından SPI ve RDI yüksek korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. RDI ve SPEI'nın yağışla birlikte PET değerini dikkate almasından dolayı özellikle yarı kurak ve nemli iklim bölgelerinde kuraklık şiddetinin daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Araştırmacılar, kuraklığın sadece meteorolojik yansımalarının değil hidrolojik ve tarımsal süreçlere etkisini gözlemlemek için geliştirdikleri indisler ile kuraklık analizlerine katkıda bulunmuş ve kuraklığın farklı boyutlarında ortaya çıkabilecek tehlikeli dönemlerin boyutlarını ve sürelerini belirlemek için farklı parametreleri işlemişlerdir. Akarsu akışları, yeraltı suyu, rezervuar seviyeleri, toprak nemi gibi farklı parametrelerle hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların tespitinde yarar sağlamıştır. Tarımsal alanda özellikle toprak nemine ve terlemeye bağlı birçok indis ortaya çıkmıştır. Bu indislerden bazıları modellemeler üzerine çalışmış ve karmaşık hesaplama yöntemleri ortaya çıkarmıştır. Hidrolojik kuraklıklar için yeraltı suyu seviyeleri, akarsu akışları ya da yüzey akışı ile hesaplanabilen birçok indis geliştirilmiştir. SDI ve SRI akarsu akışlarını değerlendirmek üzere geliştirilen indislerdendir. Ayrıca, yeraltı suyuna ve depolama endekslerine bağlı birçok indise de çalışmalarda rastlamak mümkündür.

(Surendran vd., 2017), kuraklık izlemesi ve karakterinin belirlenmesi için kullanılan üç farklı indisin birbiriyle uyumlu çalışma durumunun araştırmıştır. Deciles, Standart Yağış Endeksi (SPI), Keşif Kuraklık Endeksi (RDI) ve Akış Kuraklık Endeksi (SDI) bu çalışmada kullanılan indislerdir. Çalışma sonucunda Madurai bölgesinin Deciles yöntemiyle 100 yıl boyunca 20 yılın kuraklıktan etkilendiğini, kuraklıkların döngüsel olduğunu ve her 3 ila 7 yılda bir tekrarladığını belirtmişlerdir. SPI ve RDI indislerinin de Deciles indisine benzer bir eğilime sahip olduğunun ancak, Deciles indisinin kuraklık şiddetini SPI ve RDI'dan daha düşük gösterdiğini söylemişlerdir. RDI ile SPI arasında 1 ve 3 aylık zaman ölçeklerinde korelasyon olduğunu da eklemişlerdir. Bununla birlikte SDI'nın diğer üç indisten farklı zamanlarda ve şiddetlerde kuraklık tespit ettiğini ve aralarındaki farklılıkların SDI'nın akışa bağlı hesaplama prensibinden kaynaklandığını düşündüklerini söylemişlerdir.

(David ve Davidová, 2016), Çek Cumhuriyeti ve diğer orta Avrupa ülkelerinde çok düşük yağış toplamaları ve uzun yağışsız dönemlerle karakterize edilen 2015 yaz döneminde meydana gelen kuraklığın meteorolojik ve hidrolojik boyutlarını araştırmak amacıyla kuraklık analizi yapmıştır. 50 yıldan fazla kayıt süresine (1961-2015) döneminde sahip akış ve yağış verileri ile meteorolojik kuraklık analizinde Standart Yağış İndisi (SPI) ve hidrolojik kuraklık analizinde Akış Kuraklık İndisi (SDI) kullanmışlardır. Yağış toplamalarında gözlenen eksikliğin yanında SPI değerlerinin de 2015-şubat ayında aşırı kurak olarak gözlendiğini ve 2015-Nisan ayında şiddetli kurak olarak tespit edildiğini ve temmuz ayından itibaren SPI değerlerinin daha düşük kuraklık seviyelerinde olduğunu belirtmişlerdir. Buna paralel olarak SDI sonuçları 2015 Şubat-Aralık döneminde kuraklığı tespit etmiş ve mart ayının en kurak ay olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu kuraklıktan daha şiddetli bir kuraklığın 1963 yılında yaşandığını da tespit etmiştir. 1963 yılı kadar şiddetli olmasa da 1990-1992 yılları arasında 2015 yılında gözlenen kuraklık kadar şiddetli bir kuraklık dönemini işaret etmiştir.

(Goyal vd., 2017), kuraklığı hidrolojik kuraklık çerçevesinde araştıran farklı kuraklık indislerini incelemiştir. Hidrolojik kuraklığın yüzey suyu depolaması ile ilişkili olduğunu ve dikkate alınmadığında ise su yöneticileri açısından büyük sorunlara sebep olacağını belirtmişlerdir. İndisleri karakteristiklerine göre çok değişkenli, su kıtlığına ve düşük akım karakteristiğine dayanan olmak üzere ayrı sınıflandırmalarla tanımlamış ve SDI ve SWSI indislerini çok değişkenli indis olarak önermişlerdir.

(Chen vd., 2018), Standart Yağış İndeksi (SPI), Akarsu Kuraklık Endeksi (SDI) ve Normalize Bitki Örtüsü Su Endeksi (NVSWI) entegre ederek çok endeksli olasılıklı kuraklık değerlendirmesi için Dinamik Saf Bayes Sınıflandırıcısı (DNBC) kullanmıştır. Bu şekilde kuraklığın daha kapsamlı incelenmesinin farklı göstergelerle daha iyi tanımlamalara sebep olduğunu söylemiştir.

(Zhao vd., 2014), Jinghe nehir havzasında meteorolojik kuraklığın akarsu kuraklığı üzerindeki etkisini belirlemek için frekans, büyüklük, başlangıç ve süre karşılaştırmalı analizlerini yapmışlar. Meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde SPI ve akarsu kuraklığını belirlemede SRI indisini kullanarak karşılaştırmaların gecikmelerle sonuçlandığını ifade etmişlerdir. Havzada yapılan çalışmada ortaya çıkan akarsu kuraklıklarının meteorolojik kuraklıklar ile ortalama 127 gün gecikmeli olarak meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, SRI ve SPI arasındaki ilişkinin süreleri uymasa da var olduğunu ifade etmişlerdir.

(Tigkas vd., 2012), birkaç küçük nehir havzasını içeren Yunanistan'da hidrolojik yılın başlarında oluşan meteorolojik kuraklık göstergelerine dayanarak, yıllık hidrolojik kuraklığı tahmin etmek için kapsamlı, basit düşünülmüş bir metodoloji geliştirmişlerdir. 3, 6 ve 9 aylık zaman ölçeğinde Keşif Kuraklık İndisi (RDI) kullanarak meteorolojik kuraklığı, Akış Kuraklık İndisi (SDI) ile hidrolojik kuraklık tahmin etmişler. Regresyon denklemlerini, gerçek zamanlı olarak tüm yıl için hidrolojik kuraklık seviyesini tahmin etmek amacıyla RDI ve SDI arasında türetmişlerdir. Elde edilen regresyon denklemleri ile yıllık akışı tahmin etmek için nomograflar tasarlanmıştır. Bu şekilde meteorolojik verilerin akış verisi tahminine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Nomografların kuraklıkla mücadelede ve ekonominin çeşitli sektörlerindeki faaliyetler üzerindeki etkilerini azaltmak için stratejik hazırlık planları hazırlamak için yararlı araçlar olduğunu belirtmişler.

(Kazemzadeh ve Malekian, 2016), yaptıkları çalışmada İran'ın kuzeybatısını kapsayan bölgede meteorolojik ve hidrolojik kuraklık araştırmasında sırasıyla SPI ve SDI kullanılmışlar. Tüm referans dönemleri için kuraklık olaylarının çoğunun, 1995-1996'dan 2010-2011'e kadar son 15 yılda meydana geldiğini ve alan ortalaması SPI ve SDI serilerinin sonuçlarının orta ve şiddetli kuraklık durumlarını gösterdiğini belirtmişlerdir. Genel olarak meteorolojik kuraklık endeksine göre en kurak yıl 2007-

2008, hidrolojik kuraklık endeksine göre en kurak yıl 2010-2011 olarak belirlenmiştir. Meteorolojik kuraklık döneminden sonra gelen hidrolojik kuraklığın indisler tarafından tutarlı bir şekilde tespit ettiği söylenmiştir. Kuraklık analizleri sonuçlarının trendlerinin araştırıldığı devam çalışmasında eğilimlerin hem SPI değerlerinde hem de SDI değerlerinde azalan yönde olduğunu ancak SDI sonuçlarındaki azalmaların daha güçlü olduğunu söylemişlerdir. SPI ve SDI serilerinde tespit edilen olumsuz eğilimleri çalışma alanının son otuz yılda daha kurak olduğunun göstergesi olarak belirtmişlerdir. Ayrıca, meteorolojik ve hidrolojik kuraklıklar arasında Mayıs-Temmuz-SPI serisi ile Haziran-Ağustos-SDI serisi arasında 0.65 korelasyon katsayısı ile güçlü korelasyonlar bulunduğunu eklemişlerdir.

(Myronidis vd., 2018), Kıbrıs'ta hidrolojik kuraklık tespiti amacıyla 1979-2013 dönemini kapsayan akışların Akış Kuraklık Endeksi (SDI) ile kuraklık analizleri yapmışlar ve SDI'nın tespit ettiği kurak dönemlerin önceki kurak dönemlerle uyduğuna söylemişlerdir. Ayrıca, akış hacimlerinin yıllık ve mevsimsel zaman serilerinde Mann-Kendall (MK) testi ile yapılan eğilim araştırmasında 0.05 anlamlılık düzeyinde azalan fakat önemsiz bir eğilim gösterdiğini ve Sen'in eğilim istatistiğine dayalı olarak yıllık ortalama akış hacmi hacminin on yılda yaklaşık %9,4'lük azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir. SDI eğilimleri ise kuraklığın giderek şiddetlendiğini gösterdiğini ifade etmişlerdir.

(Zarei vd., 2016), Keşif Kuraklık İndisinin (RDI) uygulanmasına bağlı olarak 1980'den 2010'a kadar 16 istasyonda kuraklık şiddetindeki eğilimi değerlendirmiştir. Lineer regresyon (LR), Mann-Kendall (MK) ve Spearman'ın Rho(SRHO) testleri% 5 anlamlılık düzeyinde, farklı zaman RDI serilerindeki (1, 3, 6 ve 12 aylık zaman serileri) eğilimler testleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre: Lineer regresyona göre yıllık bazda en kurak ayın Mart ve Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho testlerine göre, kurak ayın Temmuz olduğunu belirlemiştir. Mart ayı için istasyonların % 43.7'sinde ve temmuz ayı için % 50'sinde RDI'da önemli düşüş eğilimi gözlemlendiği de tespit edilmiştir. Kısa vadeli RDI zaman serilerinde (bir aylık zaman serileri) uzun vadeli olanlardan daha sık azalma eğilimlerini gösterdiği ifade edilmiştir. RDI zaman serilerindeki azalma eğiliminin kuraklık şiddetindeki artış eğilimi anlamına geldiği de belirtilmiştir.

(Thomas vd., 2015), Bearma havzası için havza ölçeğinde sistematik ve kapsamlı bir kuraklık analizi yapmış ve kuraklıkların meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık özellikleri dahil çeşitli yönleri değerlendirmiştir. Havzanın kuraklık sıklığı oldukça yüksektir, 3 ila 5 yılda tekrarlayan kuraklığın gözlemlendiği bölgede özellikle son on yılda sık sık ve şiddeti değişen kuraklık tespit edilmiştir. Standart Yağış İndisi (SPI) ile değerlendirilen meteorolojik kuraklık özellikleri bölgede kuraklık şiddetinin büyük oranda arttığını göstermiştir. Akış Kuraklık İndeksi (SDI) ile belirlenen kuraklık değerleri ise 2000 ile 2008 yılları arasında her yıl en az 3 aylık süren kuraklık olduğunu göstermiştir. Yeraltı sularında meydana gelen kuraklıkların tespiti için Yeraltı Suyu Kuraklık İndeksi (GDI) kullanılmış olup, bu indisin diğer indislerden farkı üç aylık ölçümlere dayanmaktadır. GDI'nın sonuçlarına göre özellikle 2000 yılından bu yana, tekrarlayan muson yağmuru eksiklikleri nedeniyle sürekli bir yeraltı suyu kuraklığı dönemi olmuştur. Yeraltı suyu kuraklığı, meteorolojik kuraklığın başlangıcında kalmaktadır ve meteorolojik kuraklığın sona ermesinden sonra bile devam etmektedir. Bu, 2008'in normal bir muson yılı olmasına rağmen, yeraltı suyu kuraklığının 2008'de daha da devam ettiği gerçeği ile doğrulanmıştır.

(Shahid ve Hazarika, 2010), Bangladeş'in kuzeybatısındaki bölgede yeraltı suyu kıtlığı ve kuraklığı araştırmıştır. 1995 yılına kadar yeraltı suyu seviyesinin, bölgedeki yeraltı suyu ikmalinin ana kaynağı olması nedeniyle yağış eksikliği veya fazlalığı ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir. Yağışa bağlı meteorolojik kuraklığın tespiti için SPI kullanmıştır. SPI zaman serilerinden ve minimum yeraltı suyu seviyesi eğrisinden, hem musonun sonunda 6 aylık SPI'nın hem de musonun başlangıcında 1 yıllık SPI'nın çalışma alanındaki yeraltı suyu seviyesinin doğal dalgalanmalarını göstermiştir. Yeraltı suyu hidrograflarının ve yağış zaman serilerinin analizi, kurak mevsimde ve tekrarlayan kuraklıklarda sulama için sürekli artan yeraltı suyu ekstraksiyonunun bölgedeki yeraltı suyu seviyesinin düşmesinin nedenleri olduğunu ortaya koymaktadır. 1994–1995 yıllarındaki şiddetli kuraklık ve 1995'ten sonra sulama için yeraltı suyunun aşırı kullanımı, yeraltı suyu seviyesinin ardışık yıllarda daha da derinleşmesine neden olmuştur.

(Hsin-Fu ve Chia-Fu, 2019), Güney Tayvan'da bulunan Kaoping Nehri Havzasının kuraklık özelliklerini incelemek için SPI ve SGI kullanmıştır. Uzun vadeli yağış ve yeraltı suyu seviyesi verileri analiz etmek için kullanılan zaman ölçekleri 1 ila 12 aylık

periyotlarda değişmektedir. Değerlendirme sonucunda 2003-2005 döneminde sürekli bir kuraklık gözlenmiştir. 2012 ve 2014 yılları da kurak geçen dönemler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kısa dönemler için elde edilen SPI ve SGI sonuçlarının döngüsel dalgalanma sergilediği ve kuraklık oluşumunu etkili bir şekilde yansıtamadığı ancak, daha uzun dönemler için SPI ve SGI sonuçları kuraklık olaylarını incelemek ve çalışma alanının kuraklık eğilimini ortaya çıkarmak için kullanılabileceğini belirtmiştir.

(Van Loon vd., 2017), Güney Almanya ve Doğu Hollanda'daki iki bölge üzerindeki 2015 yeraltı suyu kuraklığını ölçmek için iki alternatif yaklaşım üzerinde çalışmışlar. İlk yaklaşımda, meteorolojik koşullar ile kaydedilmiş yeraltı suyu seviyesi gözlemleri arasındaki uzamsal olarak belirgin ilişkilere odaklanmışlardır. İkinci yaklaşımda, Küresel Arazi Veri Asimilasyon Sistemi (GLDAS) modelleri tarafından Gravity Recovery Climate Experiment (GRACE) karasal su depolama (TWS) ve GRACE-TWS ve yüzey depolama simülasyonlarından türetilen yeraltı suyu anomalilerini kullanmışlardır. Standart Yeraltı Suyu Endeksi (SGI) ile Standart Yağış Buharlaşma İndeksi (SPEI) arasında $0,25^\circ$ ızgaralı ölçekte mekansal olarak değişen optimum birikim süresi oluşturmak için 2040 kuyudan alınan aylık yeraltı suyu gözlemlerini birleştirmişler. Hesaplanan optimal birikim periyotları 1 ile 24 ay arasında değişmekte olup, yeraltı suyu tepki süresinde bölge üzerindeki meteorolojik girdiyle güçlü uzamsal farklılıklar göstermiştir. Tahmini optimal birikim dönemlerine ve mevcut meteorolojik zaman serilerine dayanarak, 2015 yılına kadar yeraltı suyu anomalilerini yeniden yapılandırılmış ve Almanya'da 2015 yılının birkaç ayı boyunca düzgün bir yeraltı suyu kuraklığının sürdüğünü, Hollanda'nın ise nispeten yüksek yeraltı suyu seviyelerine sahip olduğunu görmüşlerdir. 2003 yeraltı suyu kuraklığı hem Hollanda'da hem de Almanya'da daha az homojen bir şekilde tespit edilmiştir. Bunun nedeni, yavaş yanıt veren kuyuların (12 aydan fazla optimal birikim sürelerine sahip olanlar), orta Avrupa'da 2002 yılının ıslak yılından dolayı hala ortalamanın üzerinde olmasıdır. İkinci yaklaşım olarak kullanılan GRACE-TWS ve GRACE tabanlı yeraltı suyu anomalileri, 2003 ve 2015 kuraklık olaylarının mekansal değişkenliğini tatmin edici bir şekilde yakalayamamıştır.

(Pathak ve Dodamani, 2019), Hindistan'da kuraklığa eğilimli Ghataprabha nehir havzasında yeraltı suyu seviyelerindeki eğilimleri anlamaya ve bölgesel yeraltı suyu kuraklık özelliklerini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Kuyuların

sınıflandırılması için uzun vadeli aylık yeraltı suyu seviyelerinde kümelenme analizi ve yıllık ve mevsimsel yeraltı suyu seviyesi eğilimlerini araştırmak için Mann-Kendall testi yapmıştır. Yeraltı suyu kuraklığını değerlendirmek için Standart Yeraltı Su Seviyesi İndisi (SGI) kullanmışlardır. Çalışma alanındaki kuyuların%61'inden fazlasında, ortalama 0.21 m düşüşle, önemli düşüş eğilimleri gözlenmiştir. SGI analizinin sonuçları, azalan yağış ve yeraltı suyu kaynaklarının aşırı sömürülmesine atfedilebilecek tekrarlayan kuraklıklar yaşadığını göstermiştir.

(Chu, 2018), SGI'yı hidrolojik kuraklık tespiti amacıyla yerel ve bölgesel ölçeklerde uygulamış, bu durumun kuraklığa etkiyen pompalama ve şarj gibi uzun vadeli eğilimleri içeren mevsimsel varyasyonu ortadan kaldırdığını ifade etmiştir. Uygulamalarda Hidrolojik kuraklık açısından çalışma bölgesinde SGI'nın SPI'den daha tutarlı olduğunu söylemiş ve meteorolojik tabanlı indis yerine hidrolojik tabanlı indisin su depolamasını dikkate alması sebebiyle daha uygun olacağını düşünmüştür. Ayrıca veri kümeleme ve ayrıştırma modeli eklenerek, SGI sonuçlarının bölgesel ve yerel ölçeğe indirgenmesinden bahsetmiştir.

(Lorenzo-Lacruz vd., 2017), Akdeniz adasındaki akiferlerin çeşitli zaman ölçeklerinde Standart Yağış Endeksi (SPI) ile Standart Yeraltı Suyu Endeksi (SGI) sonuçları arasındaki korelasyonlara dayanarak yağış değişkenliğine tepkisinin bir değerlendirmesini yapmışlar. Akiferlerin biriken yağış anormalliklerine SPI'nin kısa zaman ölçeklerinde (<6 ay); orta zaman ölçeklerinde (6-24 ay); ve uzun süre ölçeklerde (> 24 ay) farklı üç ana yanıt verdiğini tespit etmişlerdir. Farklı tepkilerin esas olarak litolojideki farklılıklar ve akifer şarj alanlarındaki yüksek geçirgenlikteki kaya tabakalarının yüzdesi ile açıklamışlardır. Ayrıca akifer depolarının yağışa daha bağımlı olduğu ay ve mevsimlerin farklı olduğunu belirlemiş ve bunların iklim mevsimselliği ve akifer sömürüsü veya yeraltı sularının ekstraksiyon derecesi ile ilişkili olduğunu söylemişler. Yapılan çalışma, akiferlerin çok küçük bir alanda yağışa tepkisinde büyük mekansal değişkenliği göstermektedir ve iklim değişkenliğinin kıt su kaynakları üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılmasını sağlamak için yüksek mekansal çözünürlüklü hidro-iklimsel veritabanlarının mevcut olmasının önemini vurgulamaktadır.

(Modaresi Rad vd., 2016), tarafından, 42 yıllık verilerle yarı kurak İran Karkheh havzasında yapılan çalışmada nehir akımlarında kuraklığın mevsimsel değerlendirmesi amacıyla uzun vadeli veri kalitesinin korunmasını sağlamak için mevsimsel yağış ve dere akışı zaman serisi verilerinde önemli zamansal eğilimin varlığı Kendall- τ ve Mann-Kendall testleri ile araştırılmıştır. Ardından, mevsimsel meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları incelemek ve izlemek için SPI ve SDI kuraklık endeksleri kullanılmıştır. Yağışlarda önemli bir eğilim gözlenmezken, uygulamaya dahil edilen 18 akış istasyonundan her iki mevsimde 5'inde ve yağışlı mevsimde 3'ünde belirgin olmayan eğilim gözlenmiştir. SDI ve SPI sonuçlarına göre gözlenen akışa bağlı kuraklığın meteorolojik kuraklıklardan daha uzun sürdüğü ifade edilmiştir. Sonuçlar kuraklık analizlerinde mevsimsel akış verilerine ihtiyaç olduğunu vurgulanmıştır.

(Kousari vd., 2014), kuraklık şiddetini değerlendirmek için RDI kullanmış ve ayrıca parametrik olmayan MK trend testi ve Sen'in eğim tahmincisini kullanarak farklı RDI zaman serilerindeki eğilimleri (3, 6, 9, 12, 18 ve 24 aylık zaman serileri) incelemiştir. Sonuçlar, özellikle uzun vadeli zaman serileri (12, 18 ve 24 aylık zaman serileri) için RDI zaman serilerinde kısa vadeli olanlara göre sık azalma eğilimleri gözlendiğini belirtmişler. RDI zaman serilerindeki azalma eğiliminin kuraklık şiddetlerindeki artış eğilimi anlamına geldiğini işaret etmişlerdir. Çoğu durumda su kaynakları özellikle yeraltı suyu uzun vadeli kuraklıklardan etkilendiğinden, uzun vadede kuraklık yoğunluklarındaki artış eğilimi, incelenen alanlarda su kaynakları yönetimi için bir tehdit olabileceğini ifade etmişler. Ayrıca önceki çalışmalarda elde edilmiş SPI değerlerinden daha şiddetli kuraklık tespit etmelerinin ET_0 değerine etkiyen faktörlerin karmaşıklığından kaynaklandığını düşünmüşlerdir.

Kuraklıkla ilgili yapılan çalışmalardan Türkiye'de yapılmış olanlar ise şöyle özetlenmiştir;

(Sirdas ve Sen, 2003), kuraklık süresi ile büyüklüğü arasındaki ilişkileri betimlemek için SPI'ni Trakya bölgesindeki İstanbul, Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli için yağış kayıtlarına uygulamıştır. Yağış miktarına bağlı olan kuraklık büyüklüğü daha az yağış aldığı gözlenen_Kırklareli'nde kesme seviyesi ile artmıştır. Kuraklık büyüklüğü Trakya'nın batı ve doğu bölgelerinde diğer kesimlere nazaran daha fazladır. Krigging

sonucunda, kuraklık süresinin Trakya bölgesinin doğu ve batı bölgelerinde de daha uzun olduğunu, ancak Kırklareli'nde daha kısa olduğunu göstermiştir.

(Sonmez vd., 2005), Türkiye'deki meteorolojik kuraklıkların mekansal ve zamansal boyutlarını Standart Yağış İndisi (SPI) ile araştırmıştır. 3-6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde yapılan araştırmada, bölgesel ölçekte, Güneydoğu ve Doğu Anadolu'da, kısa zaman ölçeğinde orta şiddette kuraklıklar gözlenirken, özellikle ülkenin iç bölgelerinde daha kısa ölçeklerde ciddi kuraklıklar ortaya çıkmıştır. Ülkenin güneydoğu ve doğu kesimleri kısa zaman ölçeğinde orta şiddetteki kuraklıklara karşı daha savunmasız olacağı düşünülmektedir. Ayrıca kıyı bölgelerinde orta şiddette kuraklığın daha uzun sürelerde etkili olduğu halde etkisinin daha az olması beklenmektedir. Öte yandan, kıyı ve iç kısımlar kuraklık sıklıklarının azaldığı Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin aksine, ciddi kuraklıklara karşı daha savunmasız görülmektedir.

(Topçuoğlu vd., 2008), Ege bölgesi kuraklık analizi için 1977-2006 dönemini araştırdığı çalışmasında Standart Yağış İndisi (SPI)'ın 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerini kullanmışlardır. Kuraklık izlenen yılların 1977, 1989, 1990 ve 1992 olarak tespit edildiğini ve özellikle bölgenin kıyı kesimlerinde kuraklık şiddetinin daha yüksek değerlerde gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

(Turkes ve Tatlı, 2009), Türkiye'deki kuraklık olaylarının yoğunluk, sıklık ve mekansal ve zamansal kalıplarını tanımlayabilecek SPI için yeni bir metodoloji önermiştir. SPI'nın özelliklerini bölgesel ölçekte inceleyebilmek amacıyla yağış verilerine bir üst ve bir alt sınır belirlemek yağış serisinin yerel özelliklerini de dikkate almak istemiştir. Bu değerlendirme sonucu kuraklık şiddeti ve kuraklık süresine karar vermenin daha bölgesel içerikli olduğunu düşünmüştür.

Sonuç olarak, önerilen SPI yöntemi ile elde edilen aylık değerlerin kuraklık şiddeti değerlendirmelerinde klasik SPI yönteminde bulunanlardan daha gerçekçi ve makul olduğunu ve yağış serisinin yüksek mevsimselliği ve yıldan yıla değişkenlik gösterdiği diğer yarı kurak, nemli ve yarı nemli iklim bölgelerinin kuraklıklarının belirlenmesi ve izlenmesi için önerilen SPI metodolojisi uygulanabilir olduğunu ifade etmiştir.

Sırdaş ve Şen, Türkiye için işletmeye dayalı kuraklık izlemesi için SPI ile yağışları incelemiştir. Elde edilen sonuçlarla minimum ve maksimum kuraklık büyüklükleri ve alansal kuraklığın yayılımını tanımlamak için haritalama yapmışlar ve Türkiye genelinde kuraklıkların iklim koşulları sebebiyle tehdit oluşturduğunu ve su yönetimi açısından dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Dört kesim seviyesinde elde ettikleri kuraklıklarda maksimum kuraklık genliği, süre ve şiddet değerlerinin ülkemiz için alansal değişimleri elde edilmiş ve kesim seviyelerinin artmasıyla maksimum su eksikliğinin arttığını özellikle Mersin ilinde hem şiddetin hem sürenin uzun olduğunu söylemişler ve Türkiye geneli için su ve afet yönetiminde kuraklık genliği ve süresinin dikkate alınmasının faydalı olacağını belirtmişlerdir.

(Keskin vd., 2009), Göller Bölgesi'nin çevresindeki dokuz istasyonda meteorolojik kuraklık analizi için SPI uygulamıştır. SPI kuraklık sınıflamalarını klasik SPI'dan farklı olarak, model yapısının önceden bilinmesini gerektirmemesi avantajına sahip olan Uyarlanabilir Sinir Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Bulanık Mantık tarafından oluşturmuştur. Gözlenen değerlerin ve modelleme sonuçlarının karşılaştırılması, SPI-12 ile ANFIS modelleri arasındaki uyumun SPI-12 ile bulanık mantık modellerinden daha iyi olduğunu göstermiştir.

(Durdu, 2010), Türkiye'nin batısındaki Büyük Menderes nehir havzasında yaptığı çalışmada SPI zaman serisinin mevsimsel ve mevsimsel olmayan tahminini doğrusal stokastik modellerle ele almıştır. SPI serilerine göre en şiddetli kuraklıklardan biri en az yağış gözlenen yıl 1976-1977 döneminde ortaya çıkmıştır. O döneme kadar gözlenen kuraklıklar arasında en aşırı kuraklık olan yıl 1988-1989 dönemi olarak tespit edilmiştir. Kuraklığı tahmin etmek için geliştirilen stokastik modellerin, 2 aya kadar gecikme süresi ile oldukça iyi sonuçlar verdiği bulmuş ve SPI 9, SPI 12 ve SPI 24 gibi daha uzun zaman ölçeğinde SPI serileri için sonuçlar 3 aya kadar gecikme ile daha iyi görünmektedir.

(Yıldız, 2014), İç Anadolu Bölgesi için meteorolojik kuraklık analizi yapmıştır. Yarı-kurak iklime sahip İç Anadolu Bölgesi kuraklığın zamansal ve mekansal analizi için aylık yağış verileri ile SPI kullanmıştır. Daha önce kuraklık izlenen yıllardan 1956, 1964, 1984, 1989, 1993, 2001 ve 2004 kuraklıklarını değerlendirmiş ve mekansal ve zamansal özelliklerini araştırmıştır. Seçilen kuraklıkların yaklaşık 2 ila 25 yıl arasında

bir geri dönüş süresine sahip olduğunu belirtmiştir. Aşırı kuraklıkların alansal kapsamının 2001 yılında bölgenin %28'ine ulaşmış ve bölgenin %40'ından fazlasında 1956 ve 2001'de yaşanan şiddetli kuraklıklardan etkilenme görülmüştür. Çalışma sonuçları, SPI'nin bölgesel kuraklık özelliklerini analiz etmek için yararlı olabileceğini ve bölgesel su kaynakları yönetimi hakkında değerli bilgiler sağlayabildiğini göstermektedir. Bölgedeki akıntılar, yeraltı suyu ve rezervuarlar da dahil olmak üzere kuraklıkların su kaynakları üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğunu söylemiştir.

(Gümüş, Başak vd., 2016), Güneydoğu Anadolu bölgesinde kuraklıkların tespit edilmesi amacıyla, Standart Yağış İndisi (SPI), Erinç İndisi ve De Mortanne İndisi kullanarak 1960-2015 dönemine ait verilerle araştırma yapmıştır. 3 aydan 24 aya beş farklı zaman aralığının baz alındığı yağış verileri ile yapılan SPI analizlerinde, periyot uzadıkça kuraklığın şiddeti artmıştır. Çalışmada en kurak dönemin 1971-1980 yıllarını kapsayan dönem olduğu ve bu dönem kuraklığından en çok etkilenen yerin Pervari olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık ve yağış verileri ile yapılan Erinç ve De Mortanne Kuraklık analizlerine göre Şanlıurfa en kurak ildir.

(Gumus ve Algin, 2017), Seyhan-Ceyhan nehir havzalarında kuraklık izlemesi amacıyla 14 meteorolojik ve 12 akarsu istasyonundan alınan verilerle hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklık analizleri çalışmışlardır. Kuraklık analizleri için SPI ve SDI yöntemleri kullanmıştır. Hidrolojik ve meteorolojik kuraklıklar arasında korelasyon bulunduğunu, bunun kuraklık için belirli bir gecikme süresi ifade ettiğini belirtmişlerdir. Bu gecikme ile meteorolojik kuraklık gözlemlendiğinde belirli bir süre sonra hidrolojik kuraklıkla karşılaşabileceğini bilmenin su kaynaklarını verimli kullanma açısından önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

(Danandeh Mehr vd., 2020), üç küresel iklim modelinin çıktılarını kullanarak Ankara'da meteorolojik kuraklık izlemesi yapmıştır. Bu amaçla SPI ve SPEI kullanılmış ve Ankara'nın 1971-2000 dönemi arasında 6 şiddetli kuraklık olayı, 2 aşırı kuraklık olayı tespit etmişlerdir. Aynı bilgiler ışığında yapılan tahminler kuraklıkları aşırı kuraklık olmadan, orta-hafif şiddetli kuraklık olarak gözleneceğini göstermektedir.

(Dikbas ve Bacanlı, 2020), Orta Anadolu Bölgesi'ndeki 13 istasyonda 1959-2001 yıllarını kapsayan 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık periyotlarda SPI değerleri hesaplamış ve

bölgede aşırı, şiddetli ve orta derecede kuraklıklar tespit etmiştir. Kısa dönem analizlerinde hafif kuraklıklar daha fazla gözlemlenmiş, uzun dönemli analizlerde kuraklık şiddetinin arttığını ifade etmişlerdir. Kuraklığın değişkenliğini araştırmak için istasyon çiftleri arasında iki boyutlu korelasyonlar hesaplamış. Ve bölgedeki kuraklık dönemlerinin döngüsel bir davranışa sahip olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca, iki boyutlu korelasyon sonuçları kuraklık davranışının yüksek korelasyonlu istasyon çiftleri için bile önemli farklılıklar sergilediğini göstermiştir. Sonuçta, İç Anadolu bölgesinde korelasyon sonuçları zamansal ve mekansal farklılıklar göstermiştir.

(Arslan vd., 2016), Kızılırmak havzasında gözlenen kuraklıkların tespiti için Standart Yağış İndisi (SPI) kullanmışlar ve kısa süreli ve uzun süreli periyotlarda yaptıkları analizlerde son yıllarda kuraklığın özellikle yıllık ve 5 yıllık periyot için sıklıkla belirlenmiştir.

(Vazifekkhah ve Kahya, 2018), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Kuzey Kutup Salınımının (AO) Türkiye ve İran'ın kuzey bölgelerinde hidroklimatik değişkenler üzerindeki etkilerini incelemiştir. NAO ve AO aşırı fazlarının kış mevsiminde hidrolojik kuraklığa etkilerini Standartlaştırılmış Akış İndisi (SSFI) kullanarak araştırmışlardır. Türkiye genelindeki kısa vadeli kuraklıklara ilişkin sonuçlar, yağış koşullarının özellikle kış ve sonraki baharda negatif NAO ve AO yüksek fazlarda baskın olduğunu, İran'daki NAO ve AO etkilerinin sadece kış aylarında önemli olduğunu ifade etmişler. Ayrıca, NAO ve AO'nun yüksek pozitif fazları için SSFI çıktıları Türkiye ve İran'da önemli ölçüde farklıdır, böylece Türkiye'de genel olarak İran'ın aksine tüm zaman ölçeklerinde çoklu kuraklık olayları tespit etmiştir. Türkiye'nin batı ve doğu bölgelerinde, NAO'nun yüksek pozitif fazlarında çeşitli büyüklüklerde kuraklık gözlenirken, İran'da Hazar Denizi çevresinde NAO ve AO'nun negatif yüksek fazlarında daha az kuraklık gözlemlenmiştir. Korelasyon analizi sonuçları, çalışma alanındaki pozitif NAO döngüleri ile SSFI'lar arasında zayıf bir korelasyon tespit etmiş, Türkiye'de negatif döngülerinin nemli dönemleri kontrol ettiğini belirtmiştir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem

Kızılırmak havzasında kuraklığın karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada kuraklık analizi için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1. Homojenlik Analizi

İklimsel çalışmalarda kullanılan hidrometeorolojik verilerin dağılımında gözlenen değişimlerin doğal yollarla gerçekleşmesi oldukça önemli bir durumdur. Verinin sağlam ve güvenilir olması yapılan analizlerin doğruluğuna şüphe düşürmeksizin sonuçların elde edilmesini sağlar. Bir iklimsel zaman serisinde meydana gelen değişimlerin iklime bağlı olduğu ve dış etmenlerden etkilenmediğinin belirtisi olarak serinin homojenliği araştırılır. Serinin homojenliği ise ona bağlı istatistiksel değişkenlerin (medyan, varyans vb.) seri boyunca izlediği değerlere bağlıdır. Değişimlerde gözlenecek sapma ve tutarsızlık serinin homojen olmadığını gösterebilir. Bir serinin kaydedildiği istasyonda gözlenecek konumsal ve çevresel ölçekteki değişimler verilerin güvenilirlik seviyesini olumsuz etkileyebilir. Bu yüzden, bir zaman serisi üzerinde çalışma yapmadan evvel verilerin homojenliği kontrol edilmelidir. Homojen olmayan serilerin kullanımı ancak homojenleştirme işlemi gerçekleştirilirse mümkündür.

2.1.1.1. Von-Neumann Homojenlik Testi (VN)

Verinin homojenliğinin bozulduğunu tespit eden VN testi, (Von Neumann, 1941) tarafından önerilmiştir. H_0 hipotezi veri setinin dağılımının homojen olduğunu, H_1 hipotezi ise ortalamada düzensiz bir nokta, seride bir kırılma meydana geldiğini savunur. Hesaplama adımlarında ortalama kare değerinin varyansa oranı serinin

homojenliği hakkında bilgi verir. N değeri test istatistiğini temsil etmek üzere şöyle hesaplanır:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.1)$$

Eşitlikte Y_i ; n. yıla kadar teste tabi tutulan seriyi ve $\bar{Y}$ 'de serinin ortalamasını ifade etmektedir. Eğer N değeri 2'den farklı bir değere sahipse seride kırılma olduğu anlaşılır. Eğer $N=2$ ise, seri homojendir. Eğer ortalamada meydana gelen değişimler ani ise, N değeri 2'nin üzerinde sonuçlanabilir.

2.1.2. Durağanlık Analizi

2.1.2.1. Genişletilmiş Dickey-Fuller Testi (ADF)

Bir zaman serisinde durağanlığın araştırılması amacıyla yapılan analizlerden biri birim kök analizleridir. Bu amaçla uygulanan ilk analizler Dickey ve Fuller tarafından önerilmiş ve sonraki dönemlerde bazı yeniliklere uğramış olan birim kök testleridir. Bu test değerlendirmesinde serinin boş hipotezinin birim köke sahip olduğu ya da olmadığı durumların alternatif hipoteze göre kıyaslanması durumudur.

Dickey - Fuller testi hata terimi olarak sunulan ϵ_t 'nin otokorelasyon içermediği ve zaman serisinin AR(1) modeline uyum sağladığı varsayımından hareket etmektedir. Fakat bir zaman serisi farklı mertebeden otoregresif işlem adımlarına da uyum sağlayabilmektedir. Aslında bir zaman serisi AR(p) sürecinde ilerlerken hata terimlerinin otokorelasyona sahip olacağı bilinmektedir. Hata terimlerinde otokorelasyon varlığı ise Dickey- Fuller dağılımlarını hükümsüz hale getirir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2010).

AR(p) süreci şöyle gösterilirse;

$$Y_t = \mu + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t \quad (2.2)$$

Ancak Ar(1) modelinin uygulamada dönüşümü aşağıdaki gibi oluyor ise;

$$Y_t = \mu + \phi_1 Y_{t-1} + \nu_t \quad (2.3)$$

Burada ν_t şöyle ifade edilir:

$$\nu_t = \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

ν_t ile ν_{t-1} $k > 1$ için otokorelasyon içeren durumları, gecikmeli Y_t değerlerinin varlığı sebebiyle sıfırdan farklı değere sahiptir. Bu durumda modelin otokorelasyon varlığı incelenerek sıfırdan farklı otokorelasyonlara sahip olduğu tespit edilirse AR modelinin derecesi yükseltilebilir. Bu modelden farklı olarak AR modelinde oluşan gecikmelerde istatistiksel anlam düzeylerine göre genelden özele doğru inceleme durumu mevcuttur.

Bilgi kriterlerine göre ortaya çıkan gecikmenin derecesi tespit edilirken gecikme sayının en aza indirilmesi esastır. Bu gecikme sayısı şöyle hesaplanabilir:

$$IC(p) = T \ln \sigma^2(p) + p \left[f(T) \right] \quad p = 1, \dots, p \quad (2.5)$$

p ile ifade edilen gecikmelerin hesaplanan varyansı olmak üzere modelin gecikmelerinin artan değerleri için ceza fonksiyonu olarak tanımlanır.

$p > 1$ olduğunda AR(2) modeline göre her iki taraftan Y_{t-1} çıkarılarak

$$\Delta Y_t = \mu + \phi Y_{t-1} + \alpha_1 \Delta Y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu formülle elde edilen denklem α_1 katsayılı Y_{t-1} ile genişletilmiş halidir (Gujarati ve Porter, 1999). Sonuçta ADF(p) modeli şu şekilde elde edilir:

$$\Delta Y_t = \mu + \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \alpha_j \Delta Y_{t-j} + \beta t + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

2.1.2.2. Phillips-Perron Testi (PP)

Dickey-Fuller testi birim kök hesaplamaları hata terimlerinin istatistiksel olarak bağımsız olduğunu ve varyansının sabit olduğunu kabul eder. Genişletilmiş Dickey-Fuller testinde DF modeline gecikmeli değerleri dahil edilerek otokorelasyon varlığına karşı düzeltme sağlanmıştır.

Phillips-Perron birim kök testinde otokorelasyon ortaya çıkmaması için hata teriminin zayıf mertebede bağımlı olmasına ve serinin homojen olmayan dağılıma sahip olmasına müsaade etmektedir(Enders, 2004).

Phillips-Perron regresyonlarda DF testlerinin hata terimleri ile genişletilmiş varsayımda bulunmuşlardır. Bu durumda kullanılan regresyonlar aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} y_t &= \hat{\mu} + \hat{\alpha}y_{t-1} + \hat{u}_t \\ y_t &= \hat{\mu} + \beta\left(t - \frac{1}{2}T\right) + \hat{\alpha}y_{t-1} + \hat{u}_t \end{aligned} \quad (2.8)$$

T değeri gözlem sayısı, u_t hata terimlerini temsil etmektedir. Hata teriminin beklenen değeri sıfıra eşittir. Bu denklemde hata değerleri arasında içsel bağıntı varlığı veya homojen olma varsayımı aranmamaktadır.

PP testinde hipotezlerin serinin dağılımına göre ifadesi şu şekildedir:

$H_0; p=0$	Durağan olmayan seri ve birim kök
$H_0; p<0$	Durağan seri ve birim kök yoktur.

2.1.2.3. KPSS testi

KPSS testinde durağanlık izlenen serideki deterministik trendin ayrılmasıyla sağlanmaktadır. ADF testinde kurulan farklı bir hipoteze sahiptir(Kwiatkowski vd., 1992). H_0 birim kök içemez ve durağan seriyi gösterirken, karşıt hipotez birim kök varlığı ile durağan olmayan seriyi temsil eder. Serilerin trendden arındırılması sebebiyle sıfır hipotezindeki durağanlık trende bağlı durağanlıktır.

KPSS testinde bir veya daha büyük bir MA yapısının bulunduğu serilerde ADF' de olduğu gibi gücünün azalmaması KPSS testinin en dikkat çeken özelliğidir(Schwert, 2002). LM testi ile benzer şekilde tespit edilen KPSS testinde LM istatistiklerinin önemi büyüktür. LM testinde sıfır hipotezi rassal yürüyüşün sıfır varyansı içerdiğini ve seriyi oluşturan elemanların seriye ait deterministik trend, rassal yürüyüş ve durağanlıkla ilgili işlemler olduğunu ifade eder.

KPSS test istatistiği şöyle hesaplanır:

$$\hat{\eta} = T^{-2} \sum_{t=1}^T S_t^2 / s^2(l) \quad (2.8)$$

Burada regresyon yöntemi ile seri deterministik trend ve kesme terimlerinden temizlenen seri ve hesap edilen kalıntıların varyansları elde edilir. Denklemden S_t kalıntıların kümülatif toplamı, $s^2(l)$ kalıntılar birbirleriyle korelasyonlu olmaları ihtimali üzerine uzun dönemli bir varyans tahmincisidir. Bunlara bağlı olarak denklem şöyle tanımlanır:

$$\sum_{t=1}^T e_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \quad (2.9)$$

$$s^2(l) = T^{-1} \sum_{t=1}^T e_t^2 + 2T^{-1} \sum_{s=1}^l w(s, l) \sum_{t=s+1}^T e_t e_{t-1} \quad (2.10)$$

Denklemden $w(s, l)$ ile ifade edilen Barlett penceresidir ve aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

$$w(s, l) = 1 - s / (l + 1) \quad (2.11)$$

2.1.3. Trend Analizi

2.1.3.1. Mann-Kendall Trend Testi (MK)

Mann-Kendall eğilim testi iklim verilerinin monoton gidişe sahip olup olmadıklarını belirlemek üzere sıklıkla kullanılan non-parametrik eğilim testlerinden biridir. Verilerin nümerik değerlerinden ziyade sıralamalarını önemseyen bir testtir (Burn ve Elnur, 2002). H_0 hipotezi seri diziliminin rastgele olduğunu savunurken, H_1 hipotezi dizilimin benzer elemanlardan oluştuğunu savunur. Hipotezleri test etmek için, MK test istatistiği olan S değeri bilinmelidir. Seriyeye ait S test istatistiğinin ortalamasının sıfır olması serinin normal dağılıma sahip olduğunu gösterir. -1 ve +1 olduğu durumlarda ise serinin varyansı hesaplanarak buna bağlı elde edilen Z değerine ulaşılır.

Mann-Kendall test istatistiği S şu şekilde hesaplanır:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1; & x_j > x_i \\ 0; & x_j = x_i \\ -1; & x_j < x_i \end{cases} \quad (2.12)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2.13)$$

Eşitlikte yer alan x_i ve x_j serideki verileri ifade ederken, i ve j birer indistir. N zaman serisinin uzunluğunu gösterir.

Standart normal tablolarından belirli bir anlamlılık değeri α ya karşılık gelen $Z_{\alpha/2}$ değeri varyansa bağlı Z değeri ile karşılaştırılır. Bu serinin 10 elemandan fazla veri içermesi halinde ($n > 10$) S değerine ait varyans hesaplaması aşağıdaki gibi yapılır:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2.14)$$

Eşitlikte p ifadesi bağımlı grup adedini; t_i bağımlı gruba dahil olan veriyi göstermektedir. Varyansı hesaplanan serinin Z değeri ise şöyle hesaplanır:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & ; S < 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

Hesaplanan Z değeri tablolardan alınan $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyükse H_1 hipotezi geçerlidir, bu durumda H_0 hipotezi kabul edilemez. Tersisi durumda H_0 hipotezi geçerli olur. Hesaplanan test istatistiği S değerinin negatif ya da pozitif olması eğilimin yönünü belirler. Negatif değerler azalan eğilimi, pozitif değerler artan eğilimi gösterir (Mann, 1945).

2.1.3.2. Modifiye edilmiş Mann-Kendall trend testi (Hamed-MK)

MK testinde bir zaman serisindeki verilerin dizilimlerinin rastgele ve bağımsız dizildiğini düşünen sıfır hipotezi, seride varsa bile otokorelasyon varlığını dikkate almamaktadır. Eğer izlenen seride otokorelasyon varsa bu durum yapılan işlemlerde ve elde edilen sonuçlarda hata olabileceği ihtimalini ortaya koymaktadır. Klasik MK testinin otokorelasyonu ihmal etmeden işlem yapabileceği Modifiye edilmiş MK testini tavsiye etmişlerdir. Hamed-MK testi otokorelasyonun işlemlere etkisini göz ardı etmemek için S değeri ile temsil edilen test istatistiğinin varyansının hesap adımlarını şöyle sunmuşlardır:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \left[1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(n-k-2)r_k \right] \quad (2.16)$$

Eşitlikte r_k , gecikme değeri k 'ya bağlı otokorelasyon katsayısıdır(Hamed ve Rao, 1998).

2.1.3.3. Spearman'ın Rho trend testi (SRHO)

Parametrik olmayan ve trend analizinde sıklıkla tercih edilen testlerden bir diğeri Spearman'nın Rho eğilim testidir. Trendin olmadığı durumları tespit etmede daha başarılı bir testtir (Dahmen ve Hall, 1990). Bir zaman serisi içindeki verilerin dağılımının normal dağılıma uyması ve trendin olmadığı durumlar H_0 hipotezinin geçerli olduğu durumları gösterir. Tam tersi durumda H_1 hipotezinin varsayımı ise verilerin normal dağılmadığı ve pozitif ya da negatif yönlü bir eğilime sahip olduğu yönündedir. Spearman'nın Rho testi hesap adımları şu şekildedir:

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.17)$$

$$Z_{SR} = D \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-D^2)}} \quad (2.18)$$

Burada R_i serinin i . Sırasındaki değeri ve n serideki gözlem sayısını temsil etmektedir. Test istatistiği Z_{SR} pozitif ise artan trende, negatif ise azalan trende sahip olduğunu göstermektedir.

2.1.3.4. Lineer Regresyon testi (LR)

Lineer regresyon tek değişkene sahip zaman serilerinde eğilim belirlemek amacıyla kullanılan parametrik bir testtir. Trend doğrusu artan bir eğilime sahipse serinin artan trende, eğer azalan bir doğru formuna sahipse serinin azalan trende sahip olduğu tespit edilmiş olur. Belirgin olmayan küçük eğilimlere sahip serilerde trendi belirlemede çok hassas değildir.

2.1.3.5. Yenilikçi Şen Eğilim Çözümlemesi(İNVŞEN)

Şen, (2012), tarafından uygulamaya konulan eğilim çözümlemesinde küçükten büyüğe sıralanmış zaman serisi iki eşit parçaya bölünerek başlangıçtan orta noktaya kadar olan birinci seri x-eksenine, ortadan sona kadar seriyi oluşturan ikinci seri y-eksenine yerleştirilir. Sıralanmış verilerin Kartezyen koordinatlarda dağılımı (1:1) doğrusuna hem yakın hem de paralel gidiyorsa eğilim gözlenmemiş demektir. Ancak verilerin dağılımı (1:1) doğrusunun altına veya üstüne düşüyor ve belirli yönde bir artış ya da azalma gösteriyorsa o zaman serinin doğrunun altında ya da üstünde kalma şekline göre artan ya da azalan olduğu tespit edilmiş olur.

2.1.3.6. Pettitt Testi

Hidrolojik bir zaman serisinin homojen olup olmadığı çeşitli yöntemlerle kontrol edilerek homojenliğin değiştiği noktaların tespiti yapılabilir. Değişim noktasının tespiti zaman serisinde belirli bir noktadan itibaren azalma ya da artış izlenen noktanın belirlenmesi anlamına gelir. Pettitt testi değişim noktası tespitinde en sık kullanılan testlerdendir. Pettitt testi H_0 hipotezi serinin bağımsız ve rastgele dizildiğini savunurken, H_1 hipotezi de seride ani bir değişim olduğunu savunur. Eğer seride bir değişim varsa, Pettitt testi değişim noktasını aylık ya da yıllık olarak tespit edebilir(Pettitt, 1979). W.... eğer değişim noktası serinin ortalarına yakınsa Pettitt testinin daha hassas şekilde zamanı tespit ettiğini belirtmiştir. Zaman serisi için gözlenen değerler Y_i ile gösterilmek üzere $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ değerleri $r_1, r_2, \dots, r_3$ şeklinde dizilmiştir. X_k test istatistiğini temsil etmek üzere;

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.19)$$

şeklinde hesaplanır. Hesaplanan seride bir değişim varsa; bu değişim noktası X_E , test istatistiği $|X_k|$,nın en büyük değer aldığı noktadır. Pettitt testinde bu değer grafiklerle elde edilebilir.

$$X_E = maks |X_k| \quad (2.20)$$

X_E değeri anlamlılık değerine göre verilen kritik değeri aşarsa H_0 hipotezi kabul edilemez.

Tablo 2. 1 Pettitt testine ait %99 ve 95 güven değerlerinde zaman serisi eleman sayısına bağlı X_E kritik değerleri

Eleman sayısı Güven aralığı	20	30	40	50	70	100
%99	71	133	208	293	488	841
%95	57	107	167	235	393	677

2.1.3.7. Mann-Kendall Mertebe Korelasyon Testi (MKMK)

MKMK, bir zaman serisinde eğilimin yönünü belirlemek için kullanılan ve parametrik olmayan bir testtir(Sneyers, 1990). Serinin eğilimini belirlerken aynı zamanda değişim noktasını da tespit edebilmektedir. Grafik tabanlı uygulanan bu testte verinin nümerik değerinden ziyade sıralamadaki mertebeleri dikkate alınmaktadır. Seriyeye ait her bir eleman bir y_i ($i=1,2,3,...,n$) ve y_j ($j=1,2,3,...,i-1$) olarak alınarak karşılaştırması yapılır. Burada dikkate alınması gereken durum önceki verinin asıl veriden büyük olma durumudur. Yani $y_i > y_j$ olan her aralık sayısı olarak kaydedilir ve bu sayı değeri n_i olarak tanımlanır. n_i değerleri toplanarak t_i test istatistiği elde edilir:

$$t_i = \sum_{j=1}^i n_i \quad (2.21)$$

Test istatistiğinin ortalaması alındığında,

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (2.22)$$

elde edilir ve varyansı hesaplaması ise;

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (2.23)$$

formülü ile yapılır. Elde edilen değerlerle Mann-Kendall test istatistiği şöyle hesaplanır:

$$u(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{Var(t)}} \quad (2.24)$$

$u(t)$ ve $u'(t)$ ardışık değerlere sahiptir ve ortalamaları sıfır ve standart sapmaları bir olan standardize edilmiş değerlerdir. Bu yüzden $u(t)$ ve $u'(t)$ sıfır etrafında dalgalı bir seyir gösterirler(Partal ve Kahya, 2006).

$u(t)$ dizide ileriye dönük hesaplanan bir istatistiksel değer iken, $u'(t)$ ise dizinin sonundan başına doğru hesaplanarak elde edilir. Asıl dizinin son elemanı, yeni seride ilk eleman olacak biçimde dizi oluşturulur ve $u'(t)$ değeri denklem 2.33 ile hesaplanır.

$u(t)$ veya $u'(t)$ değerlerinin sıfıra yakın şekilde seyretmesi serinin eğilime sahip olmadığı anlamına gelir. Ancak $u(t)$ veya $u'(t)$ 'nin değerlerinin artması ve sıfırdan uzaklaşması bir değişim olduğuna işaret eder. Bu değerlerin negatif veya pozitif olması eğilimin yönünü gösterir(Tosunoğlu, 2017).

Değişim noktasının tespitinde grafikten yararlanılır. Grafiğin y eksenine $u(t)$ ve $u'(t)$ değerleri yerleştirilirken x eksenine bu değerlere ait zaman çizelgesi yerleştirilir. Eğer grafikte $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri çakışır ve bu çakışma noktasından itibaren eğrilerde önemli derecede bir sapma gözlenirse kesişme noktası değişim noktası olarak ifade edilebilir(Partal ve Kahya, 2006). Değişim noktası olarak tespit edilen noktada değer $\pm 1,96$ 'dan (%5 anlamlılık seviyesi) daha büyük ise o zaman seride önemli bir eğilim vardır ve bu nokta ise eğilimlerin başladığı tarihi gösterir. Eğer eğilim yok ise o zaman $u(t)$ ve $u'(t)$ eğrileri birbirlerine yaklaşıp uzaklaşarak birçok salınımla grafiği oluşturacaklardır.

2.1.4. Kuraklık Analizi

2.1.4.1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (Standardized Precipitation Index-SPI)

SPI, meteorolojik kuraklıkları tespit etmek ve değerlendirmek amacıyla (McKee, Doesken vd., 1993) tarafından geliştirilmiş bir indistir. Amerika Birleşik Devletleri'nde iklimsel olayların izlenmesi ve değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. SPI ile yerkürenin herhangi bir bölgesinde istenilen zaman ölçeğinde meteorolojik kuraklık izlemesi ve karşılaştırılması mümkündür. Yağış verisine dayalı olarak hesaplanmasıyla diğer bilinen indislerden daha kolay veri temini sağlayabilir. Yağış verisinin normalleştirilmesi SPI'nin temelini oluşturur. Bir yağış serisi normal dağılımdan ziyade daha uyumlu olması sebebiyle Gamma dağılımı ile temsil edilir(Thom, 1958). Gamma dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu ile şöyle ifade edilir.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \text{ için} \quad (2.25)$$

$$\alpha > 0, \quad \alpha \text{ şekil parametresi}$$

$$\beta > 0, \quad \beta \text{ ölçek parametresi} \quad (2.26)$$

$$x > 0, \quad x \text{ yağış miktarı}$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy, \quad \Gamma(\alpha) \text{ Gamma fonksiyonudur.} \quad (2.27)$$

SPI analizlerinde belirlenen zaman ölçeklerine göre yağış serisinin frekans dağılımı elde edilir. Ardından oluşturulan bu ampirik frekans dağılımına Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulur. İzlenen istasyonlardan her biri için istenilen zaman ölçeğinde (1-3-6-9-12-24-30 aylık vb.) Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait α ve β parametrelerini belirlemesi gerekir. Maksimum olasılık çözüm fonksiyonları(Thom, 1966) bu parametrelerin en uygun değerini hesaplamada kullanılır.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2.28)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (2.29)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (2.30)$$

Burada n gözlenmiş yağışların sayısını temsil etmektedir. İzlenen bir istasyonda istenilen zaman ölçeğinde kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunu bulmak için sonuç parametreleri kullanılır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (2.31)$$

$t = x / \beta$ olduğunda, bu fonksiyon eksik gamma fonksiyonu olarak ifade edilir:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (2.32)$$

X değerinin sıfır olması gamma fonksiyonunu tanımsız yapar ve yağış serisinde sıfır değeri bulunabilir, bu yüzden toplam olasılık fonksiyonu şu şekilde yazılır:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2.33)$$

q , bu denklemde sıfır olma olasılığıdır. Bir yağış serisinde sıfırların sayısını “ m ” ile gösterirsek “ $q = m/n$ ” değerine eşittir. (McKee, Doesken vd., 1993) toplam olasılık fonksiyonunu hesaplamak için bir yazılım kullanmışlardır.

Ortalaması sıfır ve varyansı 1 olan Z değerlerine dönüşüm toplam olasılık fonksiyonunu temsil eden $H(x)$ fonksiyonu ile yapılır. Bu dönüşümle hesaplanan SPI değerleri ile yağış serisinden yeni bir seri elde edilmiş olur. Farklı bölgelerden elde edilen SPI değerleri birbiri ile kıyaslama yapılarak bölge ya da konumlar arası değişimler izlenebilir.

SPI, istenilen bir zaman ölçeğinde gözlenen yağışın ortalama yağıştan farkının standart sapmaya bölünmesiyle hesaplanan değerdir. Çünkü belirlenen zaman ölçeği 12 aydan küçük bir zaman dilimini kapsıyorsa, yağış serisi normale uymayan şekilde dağılıma sahiptir. Ancak SPI herhangi bir zaman diliminde ve istenilen bölgede ortalaması sıfır ve standart sapması bire eşit olan bir serinin elemanıdır. Bu durum kurak ve nemli bölgelerin SPI ile izlenebilmesini sağlar.

Tablo 2.2. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) Kuraklık Sınıflandırması

SPI Değeri	Kuraklık kategorisi
2 ve üzeri	Aşırı Nemli
1.5-- 1.99	Çok nemli
1-- 1.49	Orta şiddette nemli
0.5-- 0.99	Normale yakın nemli
-0.49 -- (-0.49)	Normal
-0.5-- (-0.99)	Hafif kurak
-1-- (-1.49)	Orta şiddette kurak
-1.5-- (-1.99)	Şiddetli kurak
2 ve altı	Aşırı kurak

Standartlaştırılmış Yağış İndisi için düzenlenmiş kuraklık kategorileri McKee tarafından Tablo 2.2’ de sunulduğu şekilde verilmiştir. Kurak dönem olarak ifade edilmesi için SPI değerlerinin -1 veya daha az olması gerekmektedir. SPI değerinin sıfırdan büyük olmasıyla kurak dönemin sona erdiği anlaşılır. Her kurak dönemin bir başlangıç ve bitişi ve bu arada geçen zaman boyunca hâkim olduğu kuraklık süresi ve etkisinin boyutuna göre de kuraklık şiddeti vardır. Bir yağış serisi için sıfırın altında kalan dönemin toplamı yani negatif değerlerin alansal toplamı kuraklığın genliği olarak tanımlanır.

2.1.4.2. Keşif Kuraklık İndisi (Reconnaissance Drought Index-RDI)

Keşif kuraklık indisi (RDI), kuraklık karakteristiklerini belirleme üzerine yağışın etkisi ile iklimsel etkinin birleşimini birlikte kullanan indislerden biridir(Tsakiris, Pangalou vd., 2007). Aylık yağış serileri ile potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerini sentezleyerek hesaplama yapabilmektedir. RDI, yağış ve atmosferin buharlaşma talebi

arasındaki toplam açığı hesapladığı için fiziksel olarak sağlamdır. İklimsel koşulları dikkate alır. SPI gibi esnek zaman ölçeğine sahiptir. PET değerini dikkate alması sebebiyle tarımsal kuraklıkla ilgili tutarlı sonuçlar verebilir. Akdeniz iklimi gibi iklimsel hassasiyeti olan bölgelerde diğer indislerden daha doğru sonuçlar verir(Tsakiris ve Vangelis, 2005).

RDI, aylık, mevsimlik ya da yıllık hesaplama yapabilir. Başlangıç değeri olan α_k aylık ölçekte birleştirilmiş olarak sunulur ve şöyle hesaplanır:

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, i = 1 \text{ to } N \quad (2.34)$$

Burada, P_{ij} ve PET_{ij} sırasıyla i. hidrolojik yılın j. ayının toplam yağış ve potansiyel evapotranspirasyon ifade etmektedir. k referans periyot olmak üzere, istenilen zaman diliminde normalize RDI değeri hesaplanırken yapılan işlem şu şekildedir:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_k^{(i)}}{\bar{\alpha}_k} - 1 \quad (2.35)$$

Burada $\bar{\alpha}_k$, α_k değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir. Standardize RDI değeri hesaplaması ise;

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{y_k}} \quad (2.36)$$

Eşitlikte y_k değeri $\ln \alpha_k^{(i)}$ değerini, $\bar{y}_k$ değeri y_k değerlerinin ortalamasını ve $\hat{\sigma}_{y_k}$ değeri de serinin standart sapmasını ifade etmektedir. Farklı konumlarda ve farklı zaman ölçeklerinde yapılan genişletilmiş bir araştırmaya göstermiştir ki; α_k değerlerinin hemen hemen tüm konumlarda ve zaman ölçeklerinde hem log-normal hem de gamma dağılım değerlerini izlemektedir. Ancak, gamma dağılımı log-normal dağılıma göre daha başarılı sonuçlar elde etmiştir(Tsakiris ve Vangelis, 2005, Tabrizi vd., 2010, Vangelis vd., 2013).

Yağış değerlerinin sıfır $\alpha_k = 0$ olduğu durumlarda, kısa zaman ölçeğinde (aylık) hesaplama yapabilen Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu ile Standardize RDI değeri hesaplanabilir. Hesaplama adımları SPI gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu hesabı ile aynıdır. Tablo 2.3'te RDI kuraklık sınıflaması verilmiştir.

Tablo 2.3. Keşif Kuraklık İndisi (RDI) Kuraklık Sınıflandırması

RDI değeri	Kuraklık kategorisi
$RDI \geq 2$	Aşırı Nemli
$1.5 < RDI < 1.99$	Çok nemli
$1 < RDI < 1.49$	Orta şiddette nemli
$0 < RDI < 0.99$	Normal
$-0.99 < RDI < 0$	Normale yakın-hafif kurak
$-1.49 < RDI < -1$	Orta şiddette kurak
$-1.99 < RDI < -1.5$	Şiddetli kurak
$RDI \leq -2$	Aşırı kurak

2.1.4.3. Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (Streamflow Drought Index-SDI)

Hidrolojik kuraklık, hidrolojik döngünün yeryüzü formlarında meydana gelen suyun varlığında önemli bir azalma olarak tanımlanmaktadır. Bu formlar, kar erimesi ve kaynak akışı ile akarsu akışları, göl ve rezervuar seviyeleri ve yeraltı su seviyesi gibi hidrolojik unsurlara yansır. Hidrolojik unsurlar arasında su miktarının ya da eksikliklerin tespitinde akarsu akışları oldukça önemlidir. Bu nedenle hidrolojik kuraklığın tespitinde akışta meydana gelen eksiklik oldukça önemlidir. Palmer Hidrolojik Kuraklık Endeksi (PHDI) veya Yüzey Suyu Tedarik Endeksi (SWSI) gibi mevcut endeksler bir hidrolojik kuraklığın karakterize edilmesi için genel olarak verilerin mevcudiyeti zor olan ve hesaplama açısından karmaşık indislerdendir. Aksine, meteorolojik kuraklıklar için, Standartlaştırılmış Yağış Endeksi (SPI) gibi basit ve etkili endeksler kullanımda daha yaygın hale gelmiştir. Bu nedenle, hidrolojik kuraklık için daha basit bir endeks kuraklığın tespitinde istenilen bir durumdur (Nalbantis ve Tsakiris, 2009). Aylık yüzeysel akışların veri olarak kullanıldığı ve SPI metodolojisi ile hesaplama yapabilen kullanımı kolay bir indis geliştirmiştir. Normalleştirme işlemi SPI'da kullanılan sistematikte benzerdir. Zaman serisi ne kadar uzunsa o kadar tutarlı

sonuçlara ulaşmaktadır. Eksik veri bulunan dönemlerde sonuçlarda hata olabileceği ifade edilmiştir. Akış kuraklık indisi hesaplama adımları şu şekildedir:

$$Q_{i,j} = \sum_{j=1}^{3k} q_{i,j} \quad i = 1, 2, 3... \quad j = 1, 2, 3, ..., 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.37)$$

Denklemden $Q_{i,j}$ kümülatif akış hacmini, $q_{i,j}$ toplam akış hacmini ifade eder. i değeri hidrolojik yılı ve k değeri referans dönemi tanımlar. j ise hidrolojik yıldaki ayı tanımlamaktadır. Bu yöntemde yıl olarak hidrolojik yıl kullanıldığı için $j=1$ olduğunda Eylül ayını, $j=12$ olduğunda Ağustos ayını temsil etmektedir. Referans dönemler $k=1$; Ekim-Aralık, $k=2$; Ekim-Mart, $k=3$; Ekim-Haziran ve $k=4$; Ekim-Eylül dönemleridir.

Ayrıca, SDI, i'inci hidrolojik yılda k'nin her bir referans periyodu için kümülatif akış hacmi bazında aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$SDI_{i,k} = \frac{Q_{i,k} - \bar{Q}_{i,k}}{S_k} \quad i = 1, 2, 3... \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (2.38)$$

Burada $\bar{Q}_{i,k}$ ve $S_{i,k}$, sırasıyla k referans süresi için ve uzun bir süre boyunca akışın kümülatif hacminin ortalaması ve standart sapmasıdır. Denklemden yer alan $Q_{i,k}$, eşik seviyesi olarak kabul edilir. Elde edilen SDI değerleri Tablo 2.4'te verildiği şekilde sınıflandırılmaktadır.

Tablo 2.4. Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (SDI) Kuraklık Sınıflandırması

SDI değeri	Kuraklık kategorisi	Olasılık (%)
$0 \leq SDI$	Normal	51.6
$-1 \leq SDI < 0$	Hafif Kurak	25
$-1.5 \leq SDI < -1$	Orta şiddette kurak	12.5
$-2 \leq SDI < -1.5$	Şiddetli kurak	10.9
$SDI < -2$	Aşırı kurak	0

2.1.4.4. Standartlaştırılmış Yeraltı suyu İndisi (Standardized Groundwater Index-SGI)

Yeraltı suyu kuraklık olaylarının şiddetini değerlendirmek için SGI yöntemi kullanılmıştır. Yağış eksikliği ile başlayan kuraklık olayları yüzey suyu ve rezervuarlarda eksilmelere hatta yeraltı suyunda düşüslere sebep olmaktadır. Özellikle, yeraltı suyu seviyesindeki sürekli değişimler, kuraklığın şiddetini ve dağılımını belirlemeyi ve böylece bölgesel kuraklık olaylarının ciddiyetini, sıklığını ve oluşum döngüsünü anlamaya yönelik hesaplamalar için Standartlaştırılmış Yeraltı suyu İndisi (SGI) kullanılır. Analiz adımları ve kuraklık sınıflaması olarak SPI metodolojisini ve SPI sınıflama sistemini(Tablo 2.2) kullanmaktadır. Girdi parametresi aylık kümülatif yeraltı suyu seviyeleridir. Belirlenen bir zaman dilimi içerisinde mevcut yeraltı suyu seviyesinin ortalaması ile farkının standart sapmaya bölünmesiyle elde edilir.

$$SGI = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (2.39)$$

Eşitlikte, x_i mevcut yeraltı suyu seviyesini, $\bar{x}$ yeraltı suyu seviyesi ortalamasını ve σ serinin standart sapmasını temsil etmektedir. Elde edilen değerler sıfırdan küçükse yeraltı suyu seviyelerinde düşüş gözleendiğini ve kuraklık olduğunu, sıfırdan büyükse yeraltı su seviyelerinde yükselme olduğunu ve kuraklık olmadığının yansımasıdır.

2.1.5. Gidişler Analizi

Uzun yılların ortalaması altında kalan yağışlar kurak dönemleri oluşturur. Bir kurak dönemi incelerken kuraklığa ait bazı özelliklerin tanımlanması gerekir. Bunlar kuraklığın şiddeti, süresi, frekansı ve yerel dağılımıdır. Kurak dönemlerin istatistiksel analizlerinin kuraklığı tanımlayacak bir ölçü ile belirlenmesi önemlidir. Bu ölçü yağışın ortalamadan eksikliği ya da fazlalığını, yağışların sürekliliklerini ve tekerrürlerini dikkate alabilmelidir. Bu amaca yönelik en çok kullanılan yöntemlerden biri Gidişler analizidir.

Bir yağış serisi her ay farklı özelliklere sahiptir. Kış aylarında gözlenen ortalama yağış değeri ile yaz aylarında gözlenen yağışa değeri birbirlerinden oldukça farklıdır. Ancak, yılın aynı aylarında gözlenen yağış karakteri farklı yıllarda tekrarlanabilir. Bu duruma periyodiklik denir. Aylık yağış değerlerinin yüksek olduğu aylarda standart

sapma değeri yüksek iken diğer aylarda bu durum değişmektedir. Periyodikliğe sahip bir seride aylık standart sapmaların hesaplanması karışık bir durum oluşturur. Bu yüzden aylık yağışların önce stasyoner hale gelmesi sağlanmalıdır.

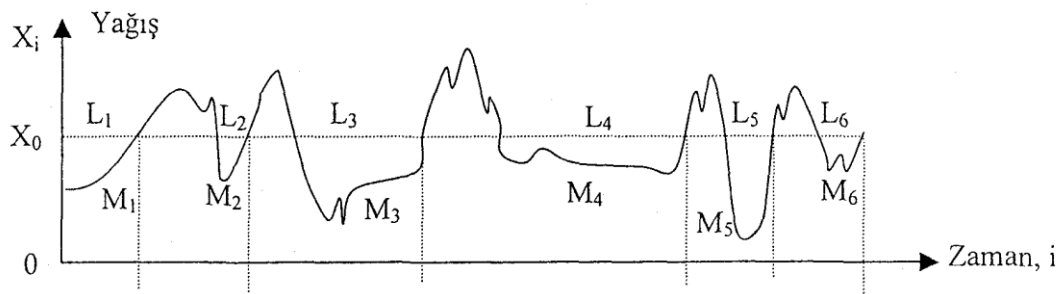
Farklı konumlardaki istasyonlarda aylık yağış serilere ait standart sapma ve ortalama değerleri farklı olacağından, verilerin standartlaştırılması gerekir. Bu durumda standart sapma ve varyansı bire eşit ve ortalama değeri sıfıra eşit bir seri oluşturulmuş olur. Oluşturulan boyutsuz seri ile işlemler daha kolay hale gelmiş olur.

Analizler için önce yağış serisi standartlaştırılır ve kesim seviyelerine göre negatif veya pozitif dönemler belirlenir. Bu seviyelerin(-1.0,-0.5, 0.0, 0.5 ve 1.0) altında kaldığı dönem negatif gidişi üstünde kaldığı dönem pozitif gidişi oluşturur.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ elemanlarından oluşan bir zaman serisinde standartlaşmış seri elemanları şöyle hesaplanır:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad (2.40)$$

Denklemde $\bar{X}$, aritmetik ortalama ve S_x standart sapmayı ifade eder. Serinin kesim seviyesi altında kalan uzunluğu kurak periyot olarak tanımlanır. Kesim seviyeleri “m” ile gösterilmek üzere kurak dönemler “L” ile gösterilir. Kuraklık seviyelerine göre belirlenen kesim seviyeleri -2.0, -1.5, -1.0, -0.5 olarak belirlenmiştir. Bu seviyelerin altında kalan dönemler kurak dönemler $L_1, L_2, L_3, \dots, L_m$ ile gösterilir.



Şekil 2.1. Gidişler analizinde kurak ve sulak gidişler (M: Yağış eksiklikleri; L: kurak süre) (Sırdaş, 2003)

Bu kurak süreler boyunca oluşan eksikliklerin toplamı “M” ile ifade edilir. Her kurak dönemin eksikliği $M_1, M_2, M_3, \dots, M_m$ ile gösterilir. Bir zaman serisinde oluşan eksikliklerin toplamı M_j şöyle hesaplanır:

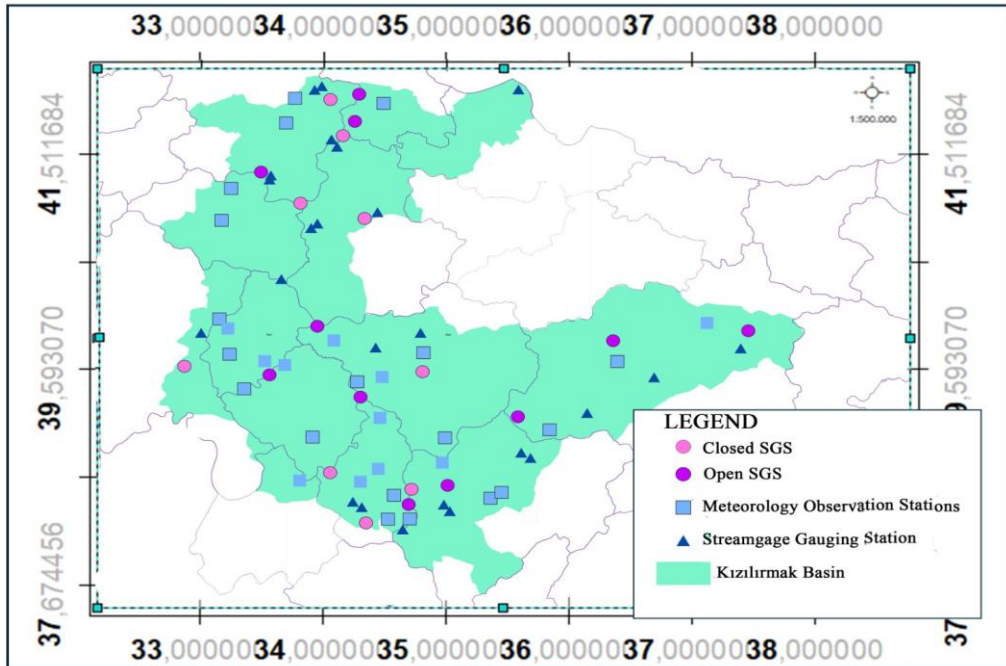
$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_0 - x_i| \quad (2.41)$$

Burada X_0 belirlenmiş kuraklıklar için SPI kuraklık kesim seviyeleri olan 0, -0.5, -1, -1.5 ve -2 değerlerini tanımlar. X_i ise analizin başında oluşturulmuş standartlaştırılan zaman serisidir. Kuraklık genliğinin kuraklık süresine bölünmesi ile kuraklık şiddeti elde edilir:

$$I_j = \frac{M_j}{L_j} \quad (2.42)$$

Kesim seviyelerinin her biri için elde edilmiş L ve M değerlerinin Kartezyen koordinatlara işlenmesiyle ortaya çıkan eğilime uygun bir fonksiyon tanımlanır. Fonksiyon tanımlama M ve L değerlerinden herhangi birini biliyor iken diğerini hesaplayabilme amacıyla yapılmıştır. Parametrelerin bazı istatistik özellikleri elde edilerek kuraklık serileri hakkında genel bir bilgi verebilir.

2.2. Çalışma Alanı



Şekil 2.2. Kızılırmak havzası fiziki görünüm ve istasyonlar

Kızılırmak havzası ülkemizin ikinci büyük havzası olup İç Anadolu bölgesinin doğusunda yer almaktadır (Şekil 2.2). Havza fiziki olarak tepelerle örtülüken, kuzey ve doğu kesimleri dağlık alanlardan oluşur. Uzunluğu 1.151 km olan Kızılırmak Nehri ülkemizin en uzun nehri olup drenaj alanı 78.180 km²'dir. Kızılırmak nehri Sivas'tan başlayarak Kayseri, Nevşehir, Aksaray, Kırşehir, Ankara, Kırıkkale, Çankırı, Çorum, Sinop ve Samsun il topraklarından ve Bafra ovasından geçerek Karadeniz'e dökülür. Kızılırmak havzası toplam 8.210.007 hektarlık alanı kaplar. 72.278 km² toplam yağış alanına sahip olan Kızılırmak Havzası'nın yıllık ortalama yağış yüksekliği 446 mm; yıllık ortalama akışı ise 164,15 m³/s'dir. Yıllık ortalama yağış verimi 2,6 L/s/km³ iken havzadaki akışın yağışa katılım oranı %3,5'tir. İçme ve kullanma suyu olarak hem yüzeysel suları hem de yeraltı suyu kuyuları kullanmaktadır. 33 barajın inşa edildiği Kızılırmak Havzası'nda barajlardan elektrik üretimi, sulama ve taşkın koruma amaçlı yararlanılmaktadır. Karasal iklimin hüküm sürdüğü havza genelinde yazları sıcak ve kuraktır. Kuzey bölümlerinde deniz iklimi hâkimdir ve ılıman iklim etkisi gözlenir.

Kızılırmak havzası 14 ilin topraklarını kapsamaktadır. Bu iller; Kayseri, Kırşehir, Aksaray, Nevşehir, Sivas, Yozgat, Kırıkkale, Niğde, Ankara, Çankırı, Kastamonu, Samsun, Çorum Ve Sinop'tur.

Havza coğrafi yapısı itibariyle 3.528.800 hektarlık bölümü ovalık arazilerden oluşmaktadır. Yeşilirmak havzası kuzey kesiminde, Fırat -Dicle havzaları doğu kesiminde yer almaktadır. Etrafı güney kesiminde Seyhan havzası, güneybatı kesiminde Konya Kapalı havzası, batı kesiminde Sakarya Havzası ve kuzeybatı kesiminde Batı Karadeniz havzaları ile çevrelenmiştir.

Havza içinde dağlar da oldukça büyük alan kaplamaktadır. Giresun Dağları'nın kuzeybatı uzantısı havzanın kuzey sınırını belirler. Bu dağ sırasından Kelkit vadisi ile ayrılan dağ sırasını Kızıldağ (3.025 m), Kösedagi (2.800 m), Tekeli Dağı (2.600 m), Asmalı Dağı (2.400 m) ve Yıldız Dağı (2.550 m) oluşturur. Fırat-Dicle havzası ile sınır oluşturan Tecer dağları Sivas ilinin orta bölümlerinde yer almaktadır. Havzada bulunan diğer önemli dağlar Gürlevik Dağı (2.650 m) ve Beydağı (2.700 m), İncebel Dağları, Karababa dağı ve Akdağlar (2235 m)'dir.

Sivas İmranlı'da doğan Kızılırmak nehri birçok derenin bir araya gelerek birleşmesiyle oluşur. Acısu, Hafik, Mısımlı, Tecer, Kuru, Yıldız, Kalın ve Göksu Sivas'tan karışan su

kaynaklarıdır. Kayseri bölgesinden Karasu, Kırıkkale'den Balaban deresi, Çankırı ve çevresinin sularını toplayarak katılan Terme ve Acı çay Kızılırmak nehrini besleyen kaynaklardır. Kızılırmak havzasının kuzeyinde yer alan Bayat, Ovacık çayı ve Değirmendere Çorum ve çevresinden, Devres çayı Ilgaz ve Tosya çevresinden, Taşköprü ve Gökırmak ise Kastamonu ve Boyabat çevresinden toplanarak Kızılırmak nehrine katılır.

Geniş bir alana yayılmış olan Kızılırmak havzası Orta Anadolu'dan Karadeniz'e kadar olan bölgede yayıldığı için meteorolojik özellikler bakımından farklı davranışlar göstermektedir. İç Anadolu bölgesinin hâkim iklimi olan karasal iklim ile Karadeniz bölgelerinde hüküm süren yağışlı ve ılıman iklim havzada farklı meteorolojik birikimler oluşturmaktadır.

2.3. Materyal

Ülkemizde meteorolojik ve hidrolojik izlemeler sırasıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) kontrolü ile yapılmaktadır. Çalışmada, Kızılırmak havzasında bulunan uzun dönemli kayıtlara sahip istasyonlar ile kuraklık analizi ve bu sonuçlar üzerinde trend analizi araştırması yapılmıştır. MGM' den 1970-2017 dönemini kapsayan sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı, buharlaşma ve nem verileri ve DSİ'den 1935-2015 dönemini kapsayan akım ve yeraltı suyu seviyeleri temin edilmiş ve eldeki veriler değerlendirilerek veri eksikliği ve kayıt uzunluğu dikkate alınarak en uygun olan istasyonlar ile analizler yapılmıştır. Havzada yaklaşık 100'e yakın meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Ancak bu istasyonlardan bazıları kayıt eksikliğine ya da kısa dönem verisine sahiptir. Bazıları da 2010-2017 öncesinde kapanmış ya da çalışma dönemi boyunca aralıklarla veri kaydını devre dışı bırakmıştır. Hem trend analizlerinde hem de kuraklık analizlerinde verilerin uzun dönemli ve sürekli olması önem arz ettiği için çalışmada kullanılan yeterli veriye sahip meteoroloji istasyonu sayısı 20 olarak tespit edilmiştir. Çalışmaya dahil meteoroloji istasyonlarının bilgileri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Akım verileri trend analizleri ve SDI kuraklık analizleri için gerekli verilerdir. SDI analizlerinde sonuçların tutarlı olması için verinin uzun dönem olması ve bu uzun aralıklarda eksik verinin bulunmaması gerekmektedir. Ancak elde edilen veriler içerisinde hem uzun döneme hem de eksiksiz veriye sahip istasyon sayısı az olduğu için

eksik verilerden aralığı uzun olmayan istasyonlarda istatistiksel metotlarla veri tamamlaması yapılarak istasyonlarda SDI analizleri ve Trend analizleri yapılmıştır. Eksik veri tamamlaması için SPSS programından faydalanılmıştır. Akım gözlem istasyonlarından çalışmaya dâhil 18 istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait bilgiler Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Çalışmada kullanılan Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonları ve konum bilgileri

İstasyon adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Gözlem aralığı	Yıllık ortalama yağış yüksekliği (mm)
Kastamonu	41°22'	33°46'	920	1970-2017	481.1
Çankırı	40°36'	33°36'	730	1970-2017	408.7
Sivas	39°45'	37°01'	1285	1970-2017	426.7
Kırıkkale	39°52'	33°42'	740	1970-2017	379.6
Yozgat	39°49'	34°48'	1300	1970-2017	572.3
Kırşehir	39°08'	34°10'	985	1970-2017	379
Gemerek	39°11'	36°03'	1150	1970-2017	390
Nevşehir	38°36'	34°42'	1224	1970-2017	412.5
Kayseri	38°41'	35°29'	1054	1970-2017	384.3
Bafra	41°33'	35°55'	15	1970-2017	781.7
İlgaz	40°54'	33°37'	920	1977-2017	487.5
Tosya	41°00'	34°02'	880	1970-2017	479.3
Osmancık	40°58'	34°48'	420	1970-2017	401.7
Zara	39°53'	37°45'	1350	1970-2017	519.5
Keskin	39°40'	33°36'	1140	1970-2017	413.8
Çiçekdağı	39°36'	34°25'	1300	1970-2017	343
Kaman	39°21'	33°43'	1075	1970-2017	464
Boğazlıyan	39°12'	35°15'	1050	1970-2017	367
Ürgüp	38°37'	34°55'	1050	1970-2017	369.4
Develi	38°23'	35°29'	1330	1970-2017	365.6

Tablo 2.6. Çalışmada kullanılan Kızılırmak havzasına ait akım gözlem istasyonları ve konum bilgileri

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Yağış alanı (km ²)
15-01	Yamula	35° 15'	38° 53'	995	15581
15-03	Yahşıhan	33° 26'	39° 50'	670	30186
15-08	Kaleboğazı	35° 02'	39° 36'	964	2919
15-17	Şefaati	34° 44'	39° 30'	895	8592
15-32	Gülşehir	34° 37'	38° 45'	885	20622
15-35	Söğütlühan	36° 50'	39° 43'	1243	6606
15-38	Çeltikçibaşı	33° 46'	40° 54'	775	1962
15-39	Bulakbaşı	37° 33'	39° 52'	1298	1642
15-67	Karaova	33° 53'	39° 55'	797	490
15-68	Kırdök	33° 49'	39° 31'	852	252
15-70	Arifoğlu	34° 19'	39° 44'	739	367
15-108	Doyduk	34° 45'	39° 11'	1028	428
15-152	Çoğun	34° 40'	38° 21'	1106	214
15-169	Ayhanlar	34° 44'	38° 48'	957	341
15-182	Bozkır	34° 40'	38° 45'	1142	73
15-190	Şahinoğlu	34° 29'	39° 53'	855	350
15-208	Değirmenözü	33° 44'	39° 28'	900	51
15-242	Aksaklı	34° 22'	38° 59'	956	260

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Verilerde Homojenlik ve Durağanlık Analizleri

Verilerde varsa tutarsızlığının belirlenmesi amacıyla %95 güven seviyesinde Von-Neuman Homojenlik testi ile Gecikmeli Dickey-Fuller testi olan ADF ve Durağanlık ve birim kök sınaması için KPSS testleri uygulanmış ve homojen ve durağan olmadığı yapılan testlerden iki farklı testte belirlenen istasyonlar hesaplamalara dahil edilmemiştir. Matlab ile yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlar tablolar halinde Ek-1’de sunulmuştur.

3.1.1. Aylık Toplam Buharlaşma Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Buharlaşma serileri için %95 güven seviyesinde yapılan homojenlik ve durağanlık testleri sonucunda elde edilen sonuçlara göre aylık toplam buharlaşma için seri oluşturabilen istasyonlardan ADF testi sonuçlarına göre durağan olmayan istasyona rastlanmamıştır. Ancak KPSS testi Boğazlıyan ve Kayseri istasyonları haricinde durağan olduğunu tespit etmiştir. Von Neumann testi sonuçlarına göre aylık toplam buharlaşma için incelenen zaman serisi homojen olarak dağılmaktadır. Boğazlıyan ve Kayseri istasyonlarında diğer iki test verinin şüpheli olmadığını gösterdiği için bu istasyonların trend analizi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.1.2. Ortalama Yağış Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Yağış serilerinin testleri sonucunda %95 güven seviyesinde ADF ve VN testleri sonuçlarında bütün istasyonlarda zaman serilerinin durağan ve homojen olduğu

gözlenirken, KPSS testi sonucunda Ilgaz istasyonu hariç diğer istasyonlar durağanlık göstermektedir. Üç testte iki test verinin şüpheli olmadığını gösterdiğinden, Ilgaz istasyonunun trend analizi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.1.3. Maksimum Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Maksimum sıcaklık serilerinin ADF ve VN testleri sonuçlarında bütün istasyonlarda zaman serilerinin durağan ve homojen olduğu gözlenirken, KPSS testi sonucunda Bafra istasyonu hariç diğer istasyonlar durağanlık göstermektedir. Üç testte iki test verinin şüpheli olmadığını gösterdiğinden, Bafra istasyonunun trend analizi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.1.4. Minimum Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Minimum sıcaklık serilerinin testleri sonucunda elde edilen değerler ile KPSS testi sonucunda Ürgüp istasyonu hariç diğer istasyonlar durağanlık göstermektedir. ADF ve VN testleri ise bütün istasyonlarda zaman serilerinin durağan ve homojen olduğunu tespit etmiştir. Üç testten iki test verinin şüpheli olmadığını gösterdiğinden, Ürgüp istasyonunun trend analizi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.1.5. Ortalama Sıcaklık Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Ortalama sıcaklık serilerinin ADF, KPSS ve VN testlerinin sonuçlarına göre Kastamonu istasyonunda KPSS testi birim kök olarak tespit edilmiş ve durağan olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak diğer iki testte sonuçlarda şüpheli bir durum olmadığından Kastamonu istasyonunun trend analizi için uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.1.6. Ortalama Rüzgâr Hızı Serilerinde Homojenlik ve Durağanlık Testleri Sonuçları

Ortalama Rüzgâr hızı için yapılan test sonuçlarına göre KPSS testi durağanlık yerine birim kökü işaret ettiği tespit edilmiştir. Durağanlık araştırması yapan diğer test ADF’de bu durum Kastamonu ve Develi istasyonunda gözlenmiş olup, bu istasyonlarda durağanlık testlerinin her ikisi de birim kök tespitinde bulunduğu için şüpheli

konumdaki istasyonlar trend analizine dahil edilmemiştir. Diğer istasyonlarda sonuçlar iki testte durağan ve homojen olduğu için trend analizi bu istasyonlarda uygulanacaktır.

3.2. Kızılırmak Havzasında Akım Gözlem ve Yeraltı Su Seviye Ölçümlerinde Homojenlik ve Durağanlık Analizleri

Akım gözlem istasyonlarından alınan verilerle oluşturulan zaman serilerine homojenlik ve durağanlık testleri uygulanmıştır. Kızılırmak havzasına ait uzun süreli kayıtlardan oluşan istasyonların ADF, KPSS ve VN testlerinin sonuçlarına göre ADF testi hiçbir istasyonda durağan olmayan veriye rastlamamıştır. Ancak KPSS testi 15-17, 15-67, 15-68, 15-70, 15-182, 15-190 ve 15-208 istasyonlarında birim kök tespitinde bulunmuştur. VN testine göre akım gözlem istasyonlarının homojen olduğu tespit edilmiştir. 15-17, 15-67, 15-68, 15-70, 15-182, 15-190 ve 15-208 istasyonları ADF ve VN testlerinde durağan ve homojen oldukları için istasyonlara trend analizi yapılmasına karar verilmiştir.

Aylık yeraltı suyu seviye kayıtlarında ADF testine göre durağan olan sadece 59666 istasyonu olurken, KPSS testine göre durağan olan sadece 59666 ve 60637 istasyonlarıdır. Homojenlik testine göre 54159 ve 54160 istasyonları dışındaki istasyonlar homojen değildir. YAS istasyonlarının kontrolünün insan elinde olması sebebiyle böyle bir dağılım olduğu düşünülmüştür.

3.3. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Veriler ile Akım Gözlem Ve Yeraltı Suyu Seviye Ölçümlerinde Trend Analizi

Bu çalışmada Kızılırmak havzasında iklim değişikliğinin meteorolojik veriler üzerine etkisinin izlenmesi amacıyla trend analizi yapılmıştır. Havza genelinde kurulmuş meteoroloji gözlem istasyonlarından en az 30 yıllık eksiksiz veriye sahip olan 20 istasyon seçilerek bu istasyonlara ait aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ve aylık ortalama yağış, aylık buharlaşma ve aylık ortalama rüzgâr hızı verileri kullanılarak zaman serileri oluşturulmuştur. Akım gözlem istasyonları ve yeraltı suyu kuyularından en uzun kayıtlara sahip veriler seçilerek akım ve yeraltı suyu zaman serileri oluşturulmuştur. Homojenlik ve durağanlık testleri ile dağılımı uygun olmayan

veriler elenerek homojen ve durağan olan zaman serileri ile yapılan işlemler şu şekilde sıralanır:

- Homojen ve durağan dağılıma sahip zaman serilerinde eğilimin belirlenmesi amacıyla %95 güven seviyesinde beş farklı trend testi kullanılmıştır. Kullanılan testler Matlab programı ile oluşturulmuştur. Bu testler Lineer Regresyon analizi(LR), Mann-Kendall Trend testi(MK), Modifiye edilmiş Mann-Kendall testi(Hamed-MK), Spearman'ın Rho testi(SRHO) ve Yenilikçi Şen Eğilim Testi(İNVŞEN) olarak belirlenmiştir.
- Trend testleri aylık maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ve aylık ortalama yağış, aylık buharlaşma ve aylık ortalama rüzgâr hızı serileri ile akım ve yeraltı suyu seviyeleri için oluşturulmuş serilere uygulanarak elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Eğilimlerin havzada dağılımı hazırlanan haritalarda gösterilmiştir.
- Trend tespit edilen istasyonlarda başlangıç tarihini belirlemek amacıyla değişim noktası belirleme yöntemi olarak Pettitt testi(PT) ve Mann-Kendall mertebeli korelasyon metodu(MKMK) kullanılmıştır. Bu değişim noktası (Change Point) testlerinin amacı, zaman serisinde başlayan değişimin noktasını tespit etmektir.
- Var olan eğilimler ve değişim noktalarının tespitinden sonra eğilimler arasında ilişkinin olup olmadığı yorumlanarak, değişimin var olan sebepleri ve iklim değişiminin etkisi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

3.3.1. Aylık Toplam Buharlaşma Zaman Serilerinde Trend Analizi

Aylık toplam buharlaşma zaman serilerine % 95 güven seviyesinde uygulanan testlerin sonucunda eğilimler tespit edilmiş ve Tablo 3.1 'de gösterilmiştir. İNVŞEN eğilim çözümlemesi grafik yöntem olması sebebiyle sonuçları ayrı yorumlanmıştır. Bir zaman serisinde eğilimin tespiti test istatistiklerinin kritik değeri aşması ile ortaya çıkar. Bu tez için 1.96 olan bu kritik değer negatif ve pozitif değerinin aşılması serinin bir eğilimi olduğunu gösterir. Eğer değer negatif yönde ise azalan eğilimi, pozitif yönde ise artan eğilimi göstermektedir. Aylık toplam buharlaşma zaman serileri için izlenen 10 istasyon bulunmaktadır. Havzada bulunan 20 istasyondan sadece bu 10 istasyonda uzun dönemli ve eksiksiz kayıtlar bulunduğu için Tablo 3.1 'de gösterilen istasyonlarda trend testleri

yapılmıştır. LR, MK, Hamed-MK ve SRHO sonuçlarına göre izlenen 10 istasyondan 6 istasyonda(%60) istatistiksel olarak anlamlı eğilimler gözlenmiş ve eğilimler 2 istasyon hariç artan yönü göstermiştir. Çankırı, Kayseri, Ilgaz ve Zara istasyonlarında bu testlerde eğilimler artan yönde iken, Kastamonu ve Kırıkkale istasyonlarında eğilimler azalan yönde tespit edilmiştir. Kastamonu istasyonunda eğilim testleri (%100) eğilim göstererek uyumlu iken, diğer istasyonlar bazı testlerde eğilim göstermemiştir. Çankırı, Kırıkkale ve Kayseri istasyonları LR hariç diğer testlerde eğilim göstermiş (%75), ancak bu istasyonlarda LR testinde eğilim tespit edilmemiştir. Ilgaz istasyonu ise Hamed-MK testinde eğilim göstermeyip(%75) diğer üç testte benzer eğilim göstermiştir. Sadece Hamed-MK testinde eğilim gösteren istasyon olan Zara istasyonunda ise diğer testlerde eğilime rastlanmamıştır. Boğazlıyan, Bafra, Sivas ve Yozgat istasyonlarında bu dört testte istatistiksel olarak anlamlı hiçbir eğilim gözlenmemiştir.

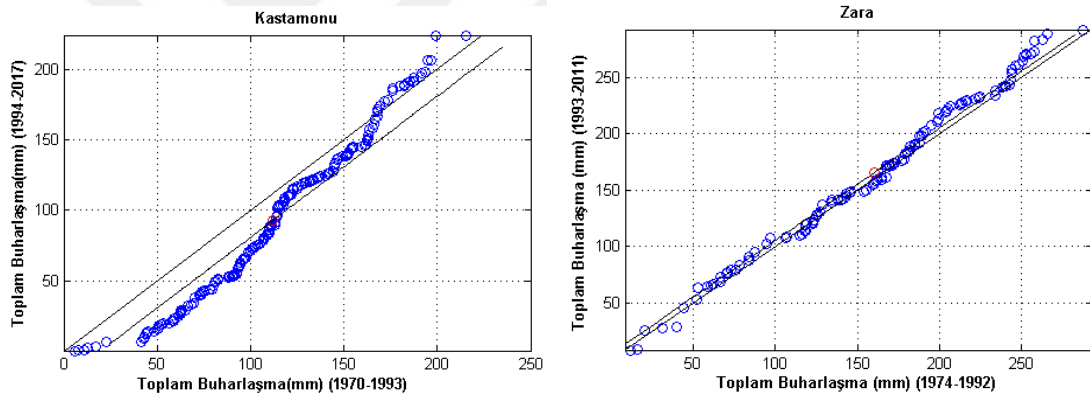
Tablo 3.1. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık toplam buharlaşma serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

Buharlaşma	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p _{MK}	Trend	Z	Trend	t _{st}	Trend	Z _{SR}	Trend
Kastamonu	-2.39	Azalan	-3.06	Azalan	-2.22	Azalan	-3.08	Azalan
Çankırı	2.06	Artan	2.91	Artan	1.68	-	2.87	Artan
Kırıkkale	-2.46	Azalan	-2.18	Azalan	-1.58	-	-2.21	Azalan
Kayseri	2.20	Artan	2.75	Artan	1.61	-	2.80	Artan
Ilgaz	2.71	-	2.71	Artan	2.52	Artan	2.59	Artan
Zara	0.46	Artan	0.40	-	0.25	-	0.40	-

İNVŞEN sonuçlarına göre seçilen 10 istasyonun hepsinde anlamlı eğilimler mevcuttur. İNVŞEN Eğilim testinde eğilimin tespiti grafik yollardan yapılırken, sayısal değerler üzerinden sınır değerleri arasında kalan zaman serisinin eğimine göre yönü belirlenmektedir. Eğer tespit edilen eğim değerinin üst ve alt sınırın dışında olması seride eğilim olduğu gösterir ve eğimin yönüne göre eğilimin yönü belirlenmektedir. Eğimin negatif olması azalan eğilimi işaret ederken, pozitif olması da tersini göstermektedir. Eğim değeri var olan trendin büyüklüğünü ifade etmektedir. Eğilim testi sonuçlarına göre Ek-2 de Tablo 3.1'de tespit edilmiş eğilimler ile Şen testi uyum göstermektedir. Kastamonu ve Kırıkkale'ye ek olarak Yozgat ve Bafra istasyonlarının

azalan eğilime sahip olduğu belirlenmiştir. Çankırı, Sivas, Kayseri, Ilgaz ve Zara istasyonlarında eğilimlerin artan yönde olduğu görülmektedir.

Şekil 3.1’de İNVŞEN aylık toplam buharlaşma serileri için elde edilen grafiklerden bazıları verilmiştir. Kastamonu istasyonunda serinin dağılımı 45°’lik doğrunun yani tarafsız eksenin altında yer almakta ve nümerik olarak negatif değer karşılığında azalan yönde eğilim göstermektedir. Kastamonu istasyonunda eğilimin düşük değerlerde ve ortalamasının altındaki değerlerde daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Hatta yüksek değerlerde az da olsa artan eğilimin varlığından bahsedilebilir. Ancak baskın olan azalma eğilimidir. Zara istasyonundaki grafik incelendiğinde düşük değerlerde tarafsız eksen üzerinde dağılma olması bu değerlerde eğilimin olmadığını ancak ortalamasının üstündeki değerlerde eksenden ayrılma artan eğilimin olduğunu gösterir.



Şekil 3.1. Kızılırmak Havzası aylık toplam buharlaşma serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri

3.3.2. Aylık Ortalama Yağış Zaman Serilerinde Trend Analizi

Aylık ortalama yağış zaman serilerine %95 güven seviyesinde uygulanan testlerin sonucunda belirlenen eğilimler ve Tablo 3.2 ’de gösterilmiştir. Uygulamaya dahil edilen meteoroloji gözlem istasyonlarından 20 istasyonun yağış kayıtlarının uzun ve eksiksiz olması sebebiyle bütün istasyonlarda trend analizi araştırması yapılmıştır. Havza genelinde 3 istasyonda artan yönde eğilim tespit edilirken, sadece Ilgaz istasyonu azalan yönde eğilim göstermiştir. Havza genelinde 20 istasyondan sadece 4 istasyonun eğilime sahip olması havzada trendin %20 olduğunu ifade etmektedir. Kastamonu ve Osmancık istasyonu sadece LR testinde artan eğilime sahipken(%25), Çiçekdağı istasyonu sadece Modifiye Mann-Kendall (Hamed-MK) testinde(%25) eğilim göstermiştir. Azalan

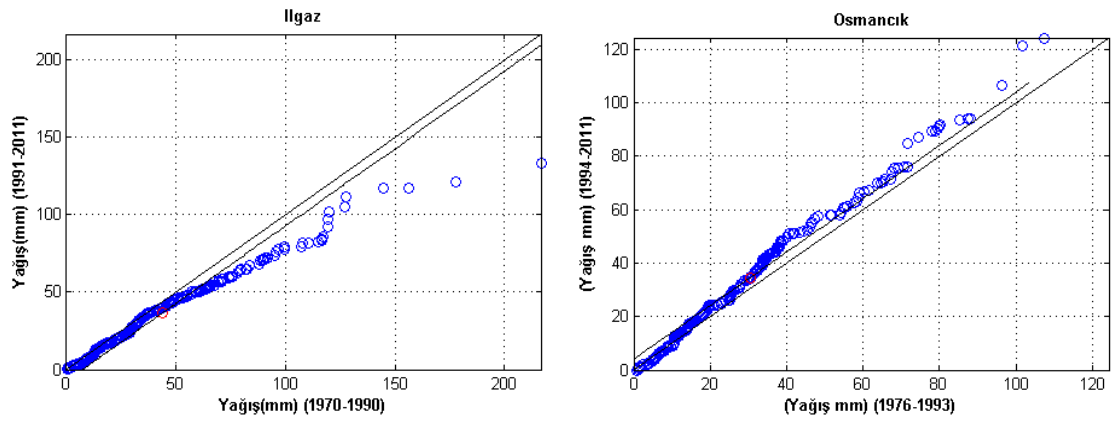
eğilime sahip olan Ilgaz istasyonunda MK testi hariç üç test eğilim(%75) tespit etmiştir. Bahsedilen istasyonların haricinde 16 istasyonda istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir eğilim gözlenmemiştir. MK testi yağış istasyonlarının hiçbirinde eğilim tespit etmemiştir. SRHO sadece Ilgaz ve Hamed-MK Kastamonu istasyonunda eğilim tespit etmişken, LR testi 3 istasyonda eğilim tespitinde bulunmuştur.

Tablo 3.2. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama yağış serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

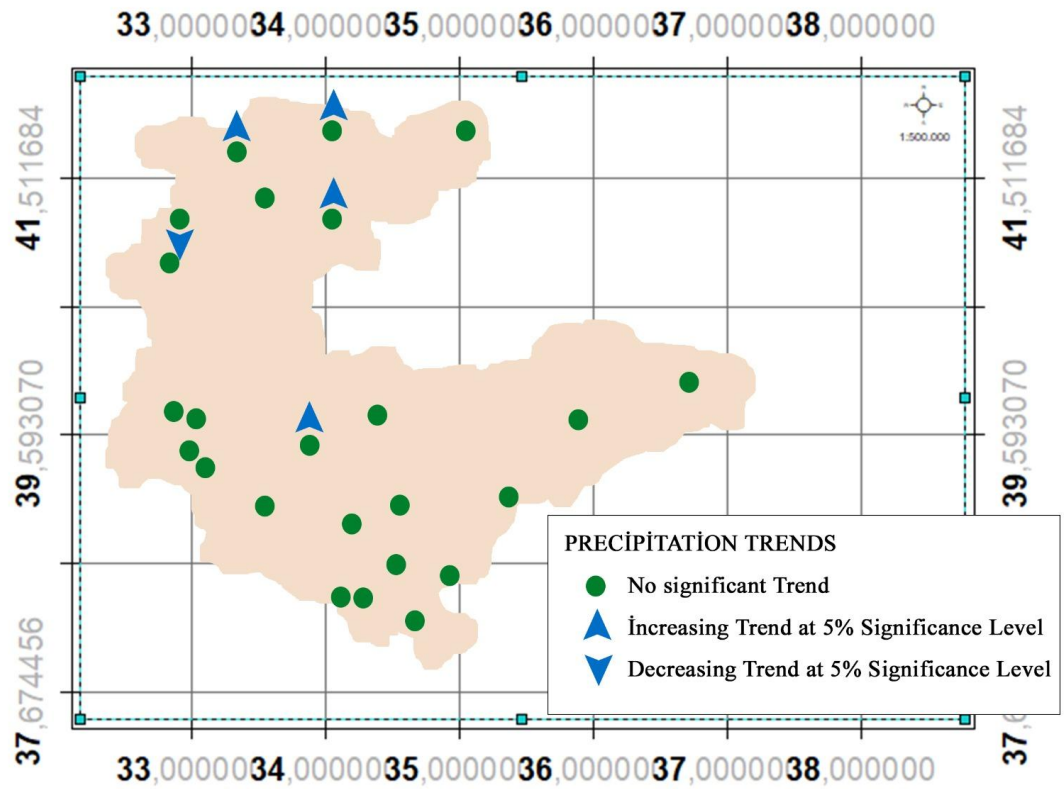
Yağış (P)	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p _{MK}	Trend	Z	Trend	t _{st}	Trend	Z _{SR}	Trend
Kastamonu	1.600	-	1.477	-	2.523	Artan	1.470	-
Ilgaz	-2.271	Azalan	-1.937	-	-3.128	Azalan	-1.965	Azalan
Osmancık	1.926	-	1.695	-	2.115	Artan	1.742	-
Çiçekdağı	2.142	Artan	1.532	-	1.618	-	1.539	-

Yenilikçi Şen Eğilim Testi(İNVŞEN) sonuçlarına göre Kastamonu, Kırşehir, Nevşehir istasyonları hariç tüm istasyonlarda anlamlı eğilimler mevcuttur. Bu eğilimlerden Bafra ve Ilgaz istasyonu azalan eğilime sahipken, diğer istasyonların hepsi yağışlarda artan eğilimi göstermiştir. Kastamonu istasyonu LR testinde artan eğilim gösterirken, İNVŞEN testi bu istasyonda eğilim tespit etmemiştir.

Şekil 3.2'de İNVŞEN testinin aylık ortalama yağış serisi için elde edilen grafikler verilmiştir. Ilgaz istasyonunda verilerin tarafsız eksenin altına doğru yayıldığı ve tarafsız eksenden uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum azalan eğilimi temsil eder. Ayrıca Ilgaz istasyonunda düşük yağış değerlerinde tarafsız eksenin üzerine dağılan veriler sebebiyle eğilim görülmezken, orta değerlerde azalma eğilimi daha belirgindir. Osmancık, Develi ve Gemerek istasyonlarında artan eğilim yağışın orta ve yüksek değerlerinde gözlenmektedir. Osmancık istasyonunda daha belirgin olan bu eğilim, Develi ve Gemerek istasyonlarında Osmancık'a nazaran daha hafif eğimle birlikte 45°'lik doğrudan pek ayrılmadığı grafikte görülmektedir. Ortalama yağış için havza genelinde eğilimlerin dağılımı Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.2. Kızılırmak Havzası aylık ortalama yağış serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri



Şekil 3.3. Kızılırmak Havzası aylık ortalama yağış serisi için eğilimlerin havzada dağılımları

3.3.3. Aylık Maksimum Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi

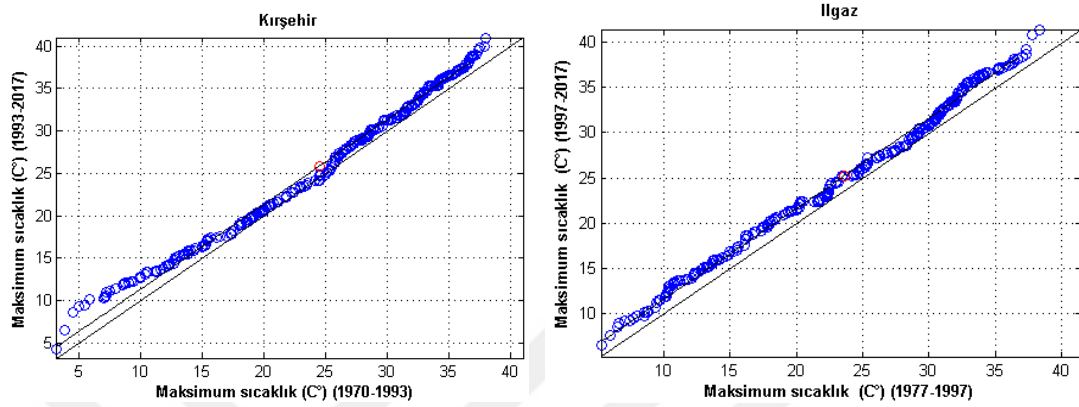
Aylık maksimum sıcaklık zaman serilerine %95 güven seviyesinde uygulanan testlerin sonucunda belirlenen eğilimler ve Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Havza genelinde 20 istasyonda yapılan eğilim araştırmasında sıcaklıklarda gözlenen eğilimler artan yöndedir. Maksimum sıcaklık serisinde azalan eğilime rastlanmamıştır. Havza genelinde 20 istasyondan 8 istasyon artan eğilime(%40) sahiptir. Yozgat, Kırşehir, Nevşehir, Ilgaz, Tosya ve Ürgüp uygulanan testlerin hepsinde eğilim(%100) göstermiştir. Kastamonu istasyonu LR ve SRHO testlerinde eğilim(%50) gösterirken, Kaman istasyonu Hamed-MK hariç diğer üç testte eğilim(%75) göstermiştir. Maksimum sıcaklık trend analizinde en az eğilim gösteren test 6 istasyonda eğilim tespit eden Hamed-MK olurken, trende sahip bütün istasyonlarda LR ve SRHO testleri(%100) eğilimi tespit etmiştir.

Tablo 3.3. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık maksimum sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

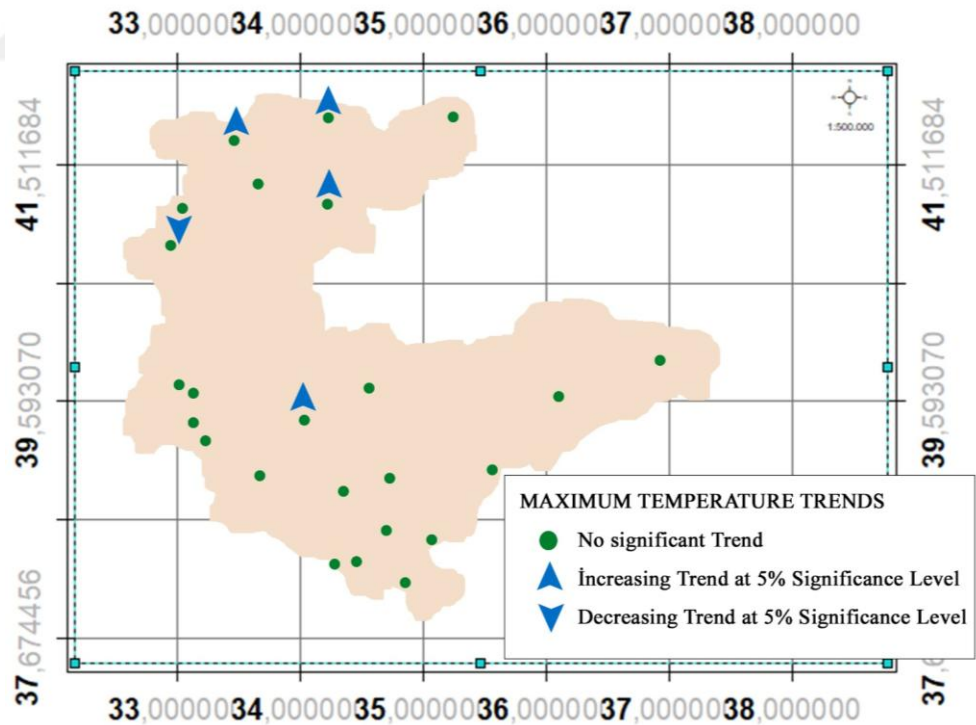
Mak. Sıc. (T_{mak})	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p_{MK}	Trend	Z	Trend	t_{st}	Trend	Z_{SR}	Trend
Kastamonu	1.775	-	1.953	-	2.064	Artan	2.039	Artan
Yozgat	2.032	Artan	2.293	Artan	2.414	Artan	2.361	Artan
Kırşehir	1.961	Artan	2.04	Artan	2.025	Artan	2.113	Artan
Nevşehir	2.092	Artan	2.373	Artan	1.205	Artan	2.443	Artan
Ilgaz	2.106	Artan	2.118	Artan	2.086	Artan	2.167	Artan
Tosya	2.057	Artan	2.074	Artan	2.014	Artan	2.118	Artan
Kaman	1.891	-	2.255	Artan	2.256	Artan	2.311	Artan
Ürgüp	2.229	Artan	2.279	Artan	2.297	Artan	2.345	Artan

İNVŞEN testi sonuçlarına göre Kızılırmak havzasındaki 20 istasyonun maksimum sıcaklıklarda artan eğilimler gösterdiğini tespit etmiştir. Önceki testlerde eğilime sahip olmayan 12 istasyon İNVŞEN testinde eğilim göstermiştir. Şekil 3.4'te verilen grafiklerde tarafsız eksenin üzerinde dağılım gösteren veri eğilimin varlığını işaret eder. Şekil 3.4'te gösterilen grafiklerde maksimum sıcaklıklarda Kırşehir ve Nevşehir istasyonlarında düşük sıcaklıklarda daha belirgin artış, Ilgaz ve Tosya istasyonlarında yüksek değerlerde artışın olduğu gözlenmiştir. Kırşehir istasyonunda orta değerlerde eğilim gözlenmese de yüksek değerlerde tarafsız eksenin uzaklaşan dağılım bu

değerlerde de eğilim olduğunu gösterir. Diğer istasyonlara ait grafikler Ek-2 de verilecektir. Maksimum sıcaklık için havza genelinde eğilimlerin dağılımı Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.4. Kızılırmak Havzası aylık maksimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri



Şekil 3.5. Kızılırmak Havzası aylık maksimum sıcaklık serisi için eğilimlerin havzada dağılımları

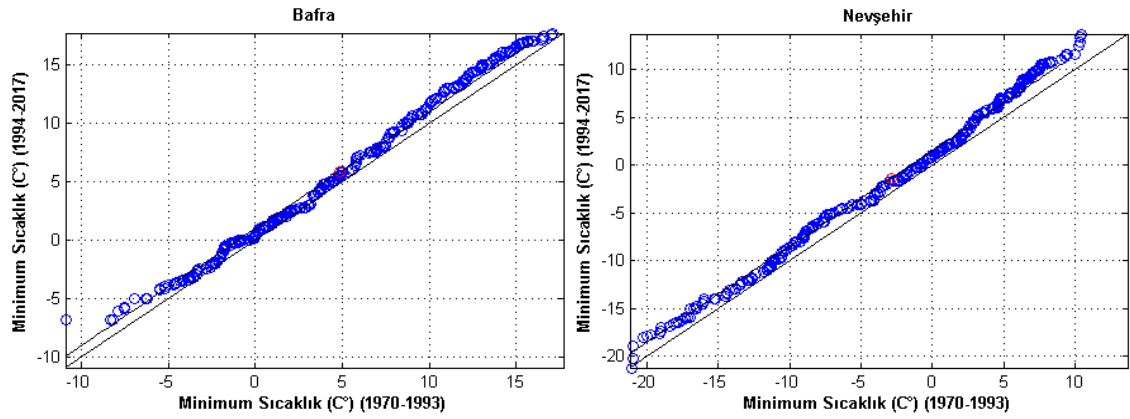
3.3.4. Aylık Minimum Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi

Minimum sıcaklıklarda yapılan eğilim testlerinde gözlenen eğilimler maksimum sıcaklıklarda olduğu gibi artan yöndedir. İzlenen 20 istasyondan 7 istasyonda eğilim(%35) tespit edilmiştir. Tespit edilen eğilimler Nevşehir, Kayseri ve Develi istasyonların bütün testlerde(%100) gözlenmişken, Bafra ve Yozgat istasyonlarında Hamed-MK hariç diğer üç testte(%75) eğilim gözlenmiştir. Sivas istasyonu LR testinde eğilim(%25) tespit edilmişken, Kaman istasyonunda SRHO testi eğilim(%25) göstermiş diğer testlerde eğilim tespiti yapılamamıştır. LR ve SRHO testleri 6 istasyonda eğilim göstererek (%85) oranında eğilim tespitinde bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 3.4'te verilmiştir.

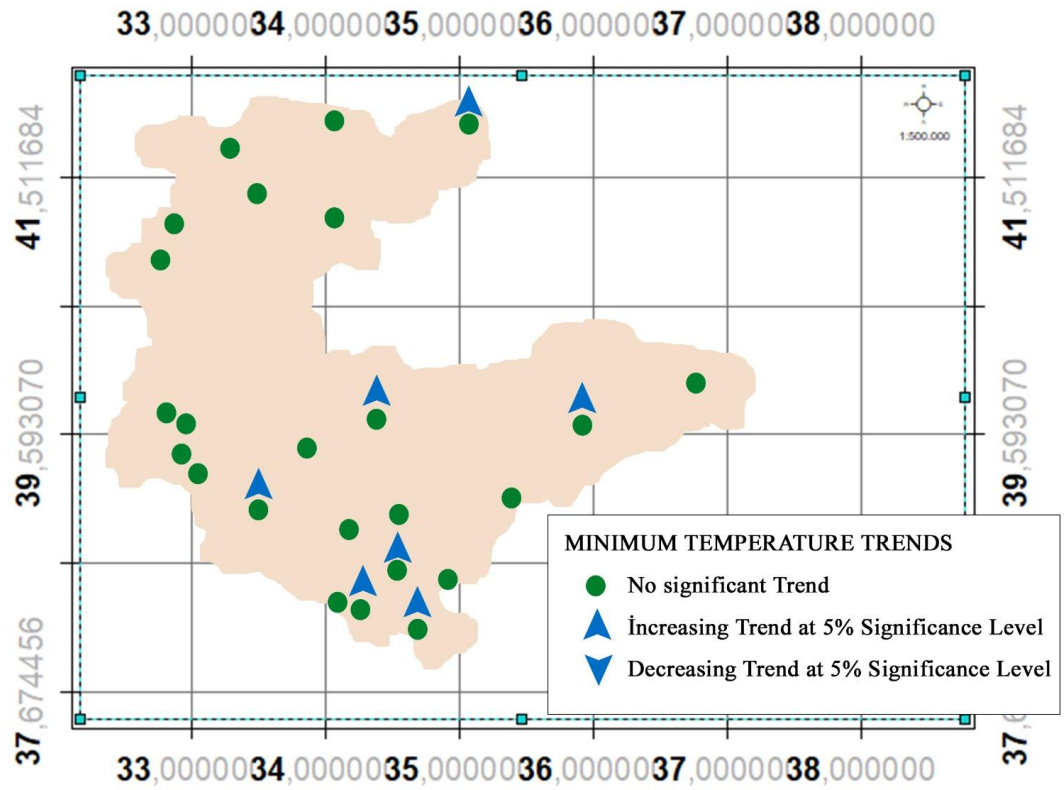
Tablo 3.4. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık minimum sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

Min. Sıc (T_{min})	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p_{MK}	Trend	Z	Trend	t_{st}	Trend	Z_{SR}	Trend
Sivas	1.44	-	1.885	-	2.039	Artan	1.94	-
Yozgat	1.949	-	2.284	Artan	2.306	Artan	2.38	Artan
Nevşehir	1.967	Artan	2.330	Artan	2.273	Artan	2.44	Artan
Kayseri	2.384	Artan	4.058	Artan	4.545	Artan	4.10	Artan
Bafra	1.742	-	1.964	Artan	2.067	Artan	2.07	Artan
Kaman	1.779	-	1.867	-	1.904	-	1.97	Artan
Develi	1.999	Artan	2.516	Artan	2.499	Artan	2.61	Artan

Kızılırmak havzasındaki 20 istasyonda Ilgaz istasyonu hariç artan eğilimler gözlenmiştir. Tespit edilen eğilimler diğer testlerle uyuşmakla birlikte, önceki testlerde eğilim göstermeyen 12 istasyon İNVŞEN testinde eğilim göstermektedir. Şekil 3.6'da verilen grafiklerde Nevşehir ve Bafra istasyonlarında kümelenmenin 45° 'lik doğrunun üzerindedir ve tüm değerlerde artan eğilim vardır. Havzada minimum sıcaklıklara ait eğilimlerin dağılımı Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Kızılırmak Havzası aylık minimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri



Şekil 3.7. Kızılırmak Havzası aylık minimum sıcaklık serisi için eğilimlerin havzada dağılımları

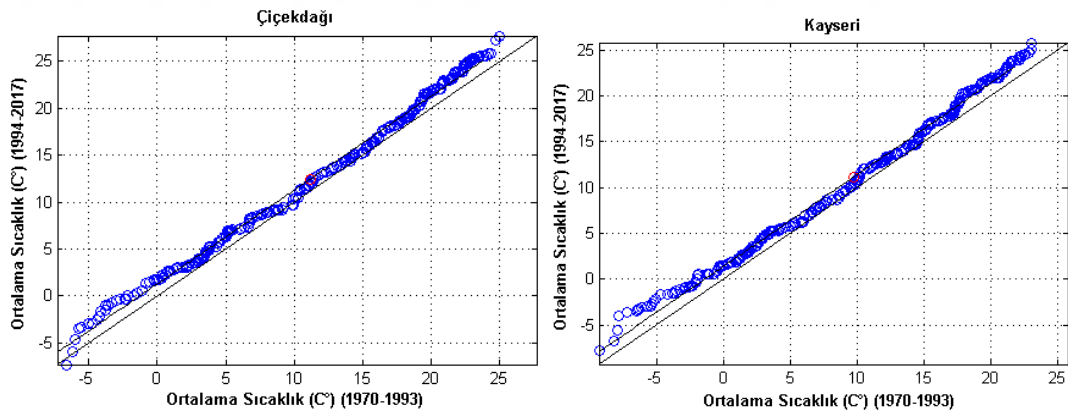
3.3.5. Aylık Ortalama Sıcaklık Zaman Serilerinde Trend Analizi

Aylık ortalama sıcaklıklarda yapılan eğilim araştırmasında sadece Çiçekdağı istasyonu Hamed-MK testinde artan yönde eğilim göstermiştir. Çiçekdağı haricinde hiçbir istasyonda herhangi bir eğilim tespit edilememiştir. Sonuçlar Tablo 3.5 'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama sıcaklık serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

Ort. Sıc. (T_{ort})	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p_{MK}	Trend	Z	Trend	t_{st}	Trend	Z_{SR}	Trend
Çiçekdağı	2.238	Artan	1.805	-	1.807	-	1.851	-

Diğer testlerde eğilim tespit edilmemişken, İNVŞEN testinde bütün istasyonların artan eğilime sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 3.8'de verilen İNVŞEN testi grafiklerinde eğim değerleri çok büyük olmasa da Kayseri ve Çiçekdağı istasyonlarında düşük değerlerde daha fazla eğilim gözlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Kızılırmak Havzası aylık ortalama sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri

3.3.6. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Zaman Serilerinde Trend Analizi

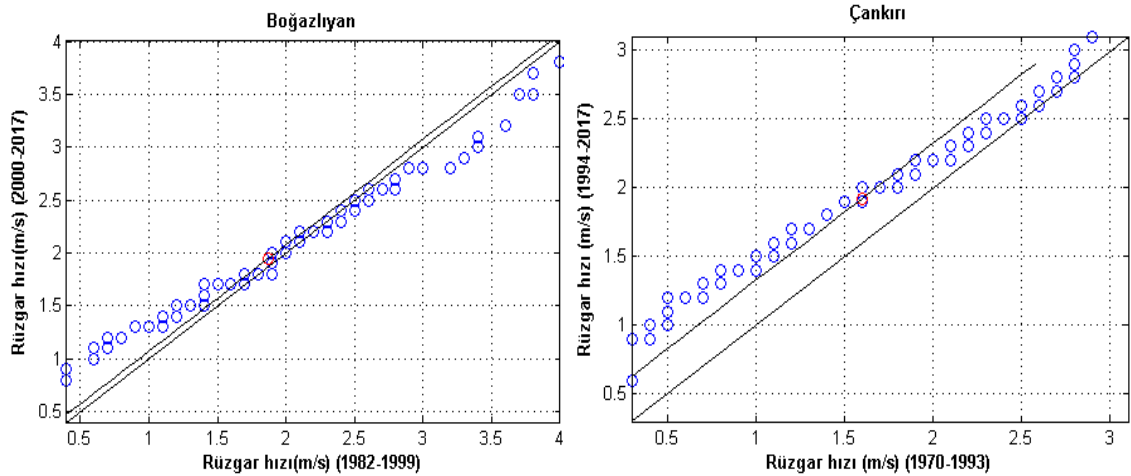
Eğilim analizlerinde Rüzgâr hızı zaman serisinde artan ve azalan yönlerde eğilimler tespit edilmiştir. Havza genelinde 15 istasyon eğilim göstermiş ve eğilimlerin yönleri ile test istatistikleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Havzada Kastamonu, Bafra, Zara, Ürgüp ve Keskin istasyonlarında eğilim tespit edilememiştir. Eğilime sahip istasyonlardan Sivas, Yozgat, Gemerek, Nevşehir, Kayseri, Ilgaz, Osmancık ve Çiçekdağı azalan eğilime

sahip olup, uygulanan testlerin hepsinde eğilim(%100) göstermiştir. Kaman istasyonunda Hamed-MK hariç azalan eğilim(%75) tespit edilmiştir. Çankırı, Kırıkkale, Tosya, Boğazlıyan ve Develi istasyonları Hamed-MK hariç üç testte artan eğilim(%75) göstermiştir. Artan eğilim gösteren Kırşehir istasyonu ise sadece SRHO testinde eğilim(%25) göstermiştir.

Tablo 3.6. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık Rüzgâr hızı serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

Rüzgâr Hızı	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p _{MK}	Trend	Z	Trend	t _{st}	Trend	Z _{SR}	Trend
Çankırı	1.358	-	5.86	Artan	7.19	Artan	8.12	Artan
Sivas	-2.525	Azalan	-10.60	Azalan	-12.35	Azalan	-8.40	Azalan
Kırıkkale	1.344	-	7.76	Artan	8.49	Artan	9.50	Artan
Yozgat	-2.366	Azalan	-17.74	Azalan	-21.31	Azalan	-15.64	Azalan
Kırşehir	0.419	-	1.16	-	1.65	-	2.28	Artan
Gemerek	-2.467	Azalan	-17.30	Azalan	-21.77	Azalan	-15.08	Azalan
Nevşehir	-2.875	Azalan	-14.18	Azalan	-16.02	Azalan	-12.07	Azalan
Kayseri	-2.600	Azalan	-11.79	Azalan	-12.67	Azalan	-9.89	Azalan
Tosya	1.887	-	8.43	Artan	9.29	Artan	9.41	Artan
Osmancık	-2.283	Azalan	-13.72	Azalan	-15.58	Azalan	-12.15	Azalan
Çiçekdağı	-2.062	Azalan	-11.17	Azalan	-9.44	Azalan	-9.32	Azalan
Kaman	-1.801	-	-3.96	Azalan	-2.74	Azalan	-2.73	Azalan
Boğazlıyan	1.100	-	2.15	Artan	2.59	Artan	3.48	Artan
Develi	1.131	-	8.50	Artan	16.55	Artan	11.91	Artan

İNVSİN testinde eğilim analizinde testin uygulandığı 20 istasyondan 6 istasyonda artan eğilim gözlenirken, anlamlı azalan eğilim gözlenmemiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.9'da verilmiştir. Çankırı ve Develi istasyonlarında artan eğilim gözlenmiş ve grafiklerde verilerin tarafsız eksenin altında ve üstünde dağıldığı görülmüştür. Bu durum, Boğazlıyan istasyonunda ortalama değerin altındaki değerlerde, (0.5-1.5 m/s) aralığında eğilimin artan olduğu ancak ortalamanın üstündeki değerlerde, (3-4 m/s) aralığındaki azalan eğilim olduğunu göstermektedir. Artan eğilimin azalan eğilimden fazla olması ortalamada eğilimin artan olmasına sebep olmuştur.



Şekil 3.9. Kızılırmak Havzası aylık ortalama rüzgâr hızı serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri

3.3.7. Aylık Ortalama Akım Zaman Serilerinde Trend Analizi

Kızılırmak havzasında uzun dönem eksiksiz kayıtlara sahip akım istasyonlarından 18 istasyon ile çalışılmış ve aylık akımlarla yapılan trend analizleri sonuçları Tablo 3.7’de verilmiştir. Dört farklı testle yapılan trend analizinde 15-32, 15-35, 15-70 ve 15-169 istasyonları haricindeki 14 istasyon eğilim(%78) göstermiştir. 15-08, 15-39, 15-67 ve 15-68 istasyonlarında eğilim artan yönde(%29) olurken, diğer 10 istasyonda eğilim azalan yönde(%71) olmuştur. Artan eğilime sahip istasyonlardan 15-08 ve 15-68 istasyonunda tüm testlerde eğilim(%100) varken, 15-39 ve 15-67 istasyonu MK ve SRHO testlerinde eğilim(%50) göstermiştir. Azalan eğilime sahip istasyonlardan 15-03, 15-38, 15-182, 15-190 ve 15-242 istasyonları analiz yapılan tüm testlerde azalma eğilimi(%100) göstermiştir.

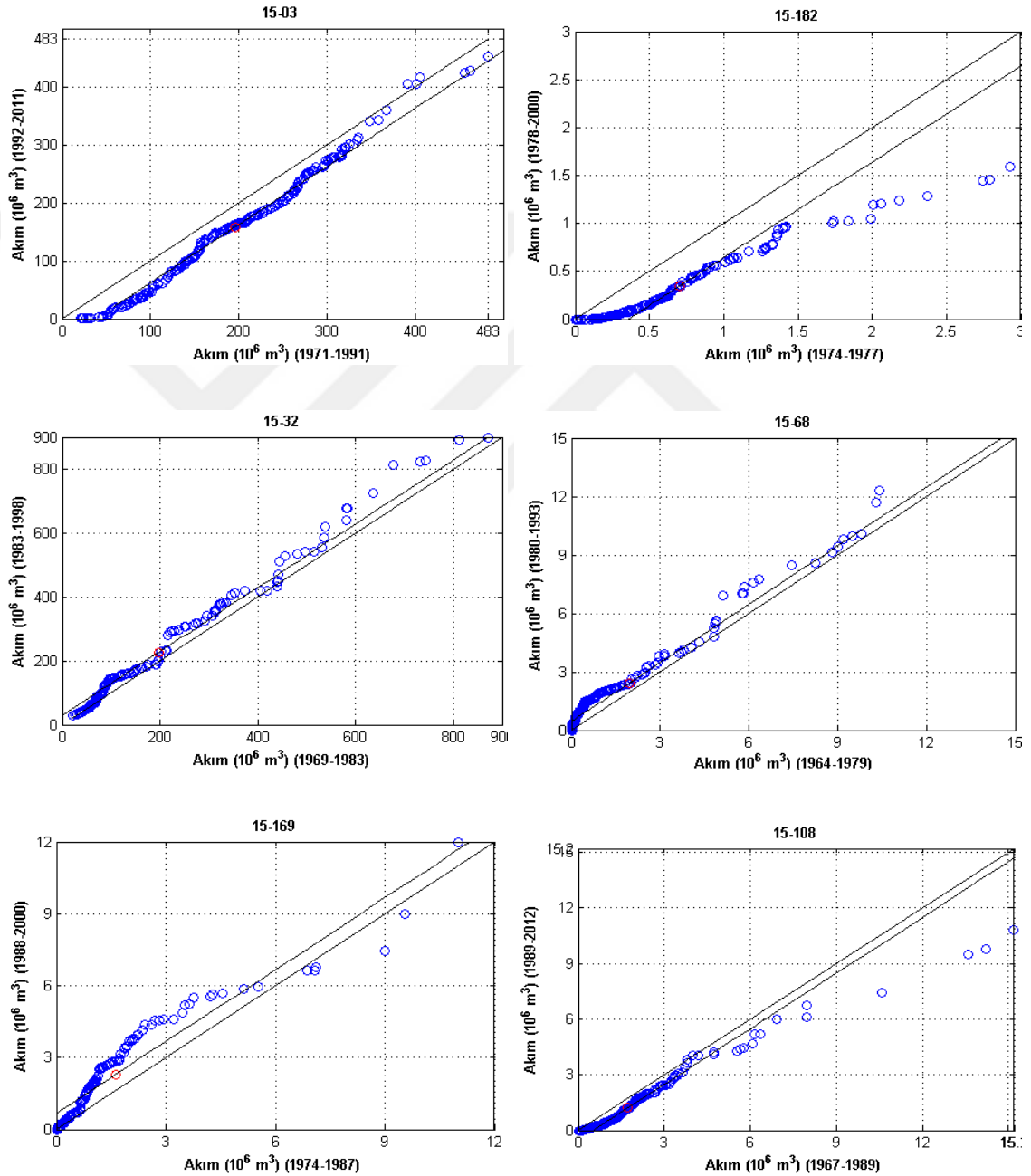
Tablo 3.7. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama akım serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

Akım	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p_{MK}	Trend	Z	Trend	t_{st}	Trend	Z_{SR}	Trend
15-01	-1.517	-	0.176	-	-2.673	Azalan	0.206	-
15-03	-2.905	Azalan	-5.367	Azalan	-2.718	Azalan	-5.143	Azalan
15-08	3.143	Artan	5.779	Artan	5.821	Artan	5.702	Artan
15-17	1.54	-	-5.564	Azalan	-4.123	Azalan	-5.609	Azalan
15-38	-2.449	Azalan	-2.449	Azalan	-3.426	Azalan	-2.34	Azalan
15-39	1.406	-	2.168	Artan	-0.083	-	2.179	Artan
15-67	1.902	-	2.07	Artan	-0.398	-	2.23	Artan
15-68	2.6	Artan	5.453	Artan	2.62	Artan	5.418	Artan
15-108	-2.018	Azalan	-8.739	Azalan	0.54	-	-8.867	Azalan
15-152	-2.073	Azalan	-2.073	Azalan	-1.496	-	-2.064	Azalan
15-182	-2.707	Azalan	-9.088	Azalan	-2.151	Azalan	-9.025	Azalan
15-190	-2.93	Azalan	-5.094	Azalan	-2.973	Azalan	-5.118	Azalan
15-208	-0.86	-	-0.988	-	-2.057	Azalan	-0.858	
15-242	-2.905	Azalan	-3.62	Azalan	-3.88	Azalan	-3.747	Azalan

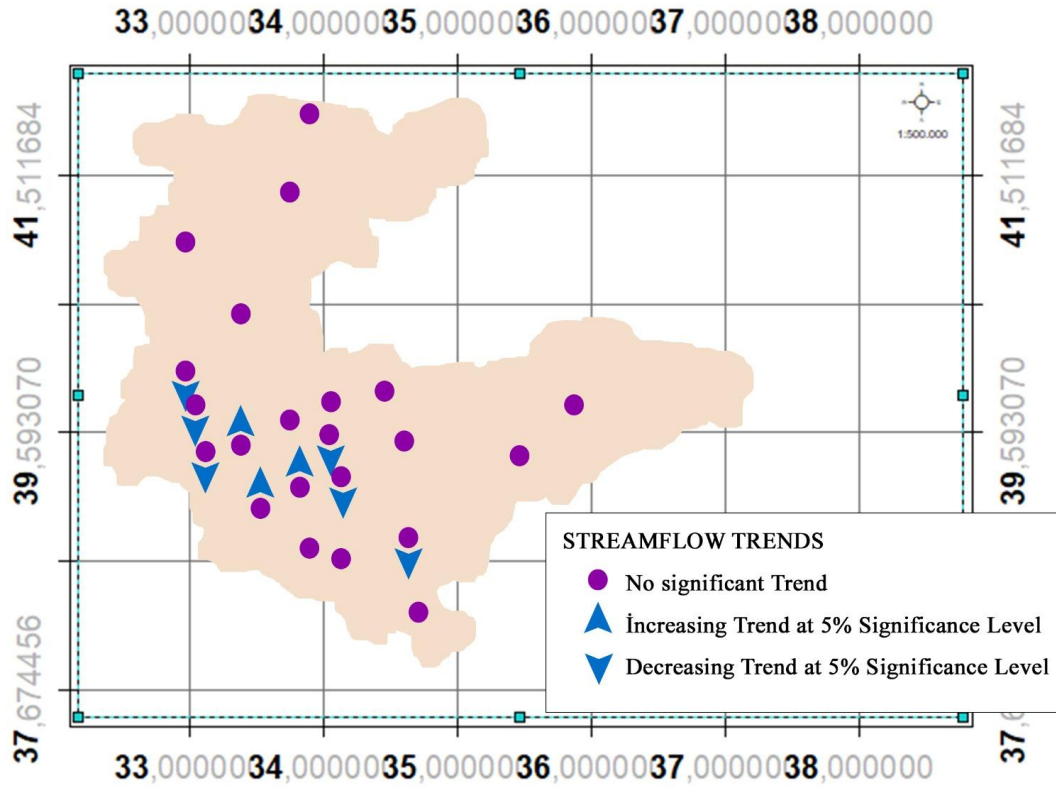
15-17 istasyonu Hamed-MK hariç diğer testlerde azalma eğilimi(%75) gösterirken, 15-108 ve 15-152 istasyonu LR testi hariç üç testte eğilim(%75) göstermiştir. 15-208 istasyonu LR ve SRHO testlerinde(%50), 15-01 istasyonu sadece LR testinde(%25) eğilim göstermiştir. Eğilimlerin tespitinde testler arasında MK ve SRHO testi 12 istasyonda eğilim(%67) belirleyerek en çok eğilim tespit eden testler olmuştur.

İNVŞEN testi sonuçları Şekil 3.10'da verilen grafiklerde artan eğilime sahip 15-32, 15-68 ve 15-169 istasyonları ile İNVŞEN testinde eğilim göstermeyen 15-03,15-108 ve 15-182 istasyonları görülmektedir. İNVŞEN testi 18 istasyondan 4 istasyonun artan, 1 istasyonun azalan eğilime sahip olduğunu tespit etmiştir. Diğer 10 istasyonda ortalamada herhangi bir eğilim göstermemiştir. 15-32 ve 15-68 istasyonlarında veri dağılımının tarafsız eksenin üzerinde ama çok uzak olmayan noktalarda olması ve başlangıçta tarafsız eksenin üzerinde ilerlemesi eğilimin hafif olduğunu ve orta ve üst değerlerde artışın gözlendiği ifade eder. 15-169 istasyonunda veri dağılımının orta değerlerde tarafsız eksenden biraz daha uzakta olması artışın daha belirgin olduğunu göstermektedir. 15-03 istasyonu diğer testlerde azalan eğilime sahipken, İNVŞEN testinde tarafsız eksenin üzerinde dağılım gösterdiği için herhangi bir eğilime sahip

değildir. Benzer şekilde diğer testlerde azalan eğilime sahip olan 15-182 ve 15-108 istasyonu, İNVŞEN testinde tarafsız eksenin alt kısmında yayılım göstererek ortalamanın üzerindeki değerlerde azalan eğilim gösterse de ortalamada tek yönlü bir eğilim göstermemiştir. Havzada aylık akımlar için eğilimlerin dağılımları Şekil 3.11’de sunulmuştur.



Şekil 3.10. Kızılırmak Havzası aylık ortalama akım serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri



Şekil 3.11. Kızılırmak Havzası aylık akım serisi için eğilimlerin havzada dağılımları

3.3.8. Aylık Yeraltı Suyu Seviyeleri Zaman Serilerinde Trend Analizi

Kızılırmak havzası Boğazlıyan, Develi ve Kırşehir alt havzalarına ait yeraltı suyu kuyularından alınan seviye ölçümleri ile yapılan trend analizi sonuçları Tablo 3.8’de verilmiştir. Havza genelinde artan eğilim hakimdir. Kayıtları bulunan 24 istasyondan 4 istasyonda azalan eğilim gözlenmektedir. Diğer meteorolojik ve hidrolojik parametrelerden farklı olarak yeraltı suyu seviyelerinde artan eğilim seviyenin artmasından ziyade kuyuda suyun daha derinden alınması anlamına gelmektedir. Artan eğilimin havzanın genelinde hâkim olması suyun daha derinlerden elde edildiğini göstermektedir. Bu durum bir su kaynağı için iyi haber değildir. Artan eğilime sahip istasyonlardan 13 istasyon tüm testlerde artan eğilimi(%100) göstermektedir. Özellikle Develi alt havzasında artış eğilimi ön plandadır. Havzada bulunan 13 istasyondan 11 istasyon(%85) artış eğilimindedir. Diğer iki istasyon azalma eğilimi göstermektedir. Kırşehir-Seyfe alt havzasındaki 7 istasyondan 1 istasyon haricinde artış eğilimine(%85) sahiptir. Boğazlıyan alt havzasında ise 4 istasyondan 2 istasyon artan eğilim gösterirken 1 istasyonda azalma eğilimi tespit edilmiştir. Bu üç alt havzanın genelinde sadece 2 istasyon (Kır-49734 ve Bğz-59668) eğilim göstermemiştir. Havzada bulunan

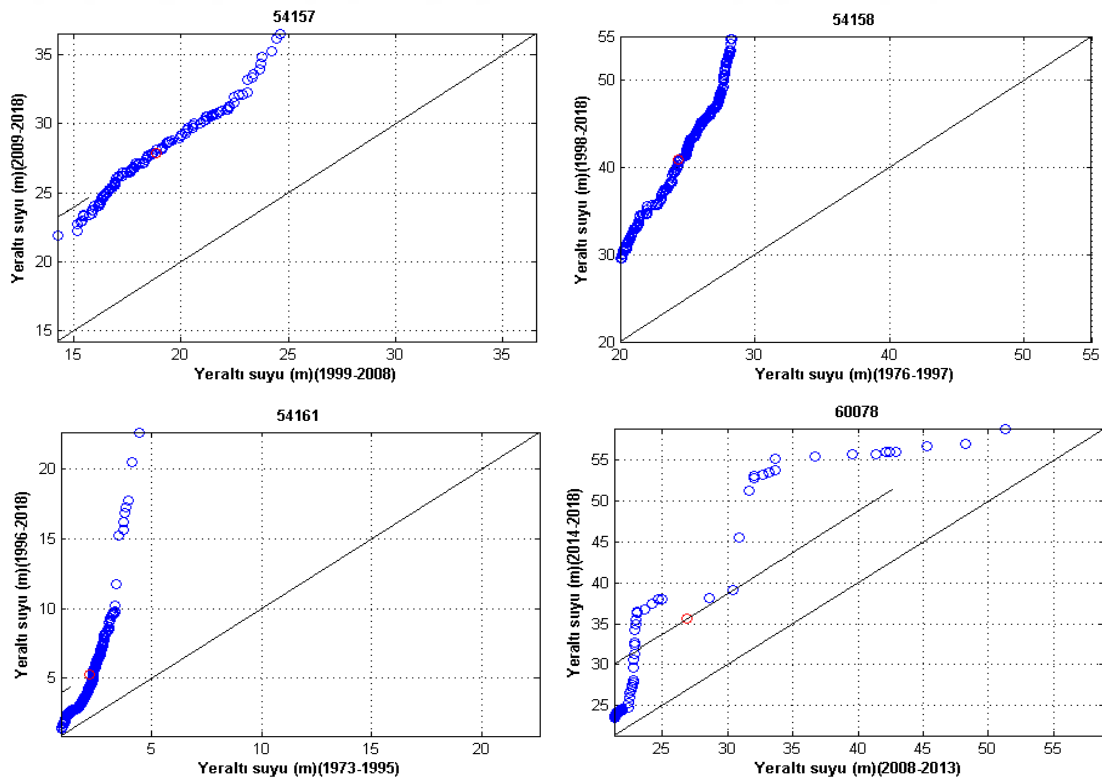
istasyonlardan Kırşehir alt havzasında yer alan 54157,54159 ve 54163 istasyonları uzun dönemli veriye sahip olup ara yıllarda eksiklikleri bulunmaktadır. Bu yüzden eksik yıllardan bölünerek işlemler yapılmış ve sonuçlar 54157A ve 54157B olarak sunulmuştur. 54157 istasyonunda veri 1976-2018 yıllarını kapsamakta ancak 1992 ile 1999 yılları arasında kayıt bulunmamaktadır. Bu durumda 1976-1992 aralığı ile 1999-2018 aralıkları ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırmaları yapılmış ve sonuçların benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Tablo 3.8. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Hamed-MK, Mann Kendall (MK) test, Lineer Regresyon (LR) ve Spearman'ın Rho (SRHO) test göre eğilim sonuçları

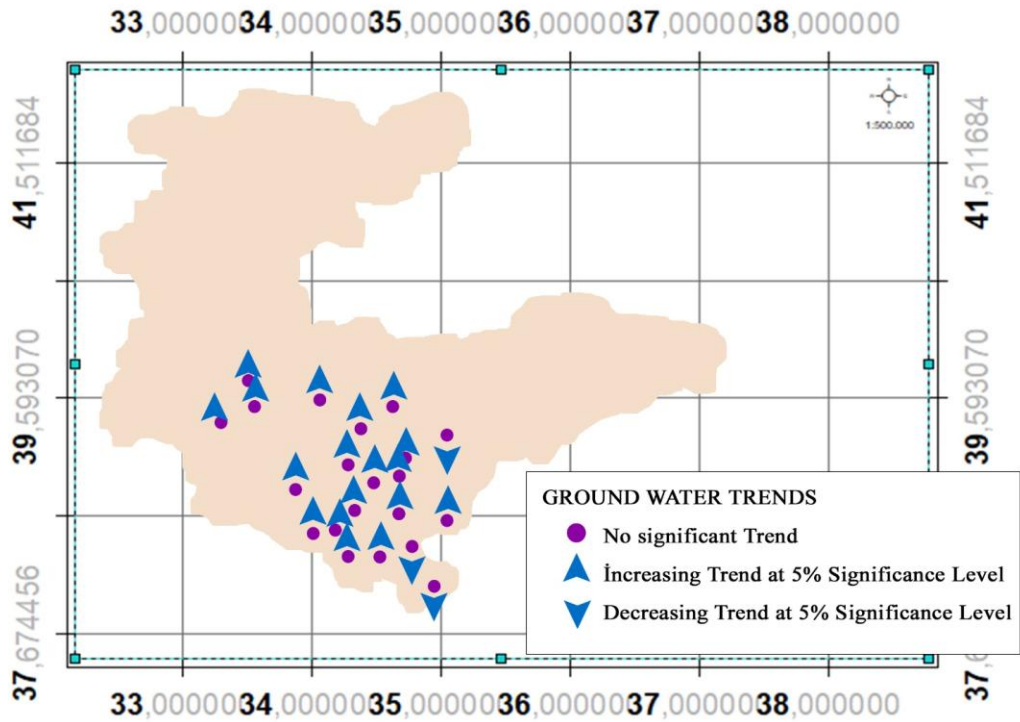
YAS	Hamed-MK		MK		LR		SRHO	
İstasyon adı	p _{MK}	Trend	Z	Trend	t _{st}	Trend	Z _{SR}	Trend
Kır-16988	2.11	Artan	5.24	Artan	7.42	Artan	4.59	Artan
Kır-49739	2.84	Artan	11.44	Artan	25.59	Artan	8.71	Artan
Kır-19076	1.27	-	1.97	Artan	0.91	-	0.98	-
Kır-53215	2.48	Artan	5.65	Artan	7.05	Artan	5.52	Artan
Kır-56151	2.09	Artan	7.52	Artan	10.47	Artan	7.18	Artan
Kır-57515	1.77	-	5.07	Artan	7.46	Artan	4.91	Artan
Bğz-59666	2.13	Artan	2.13	Artan	0.51	-	2.10	Artan
Bğz-59667	-0.55	-	-1.48	-	-3.73	Azalan	-1.61	-
Bğz-60078	1.94	-	5.39	Artan	2.72	Artan	4.95	Artan
Dev-59669	2.15	Artan	9.96	Artan	12.17	Artan	8.99	Artan
Dev-55350	2.48	Artan	10.34	Artan	17.54	Artan	9.01	Artan
Dev-55362	-1.69	-	-1.96	-	-2.56	Azalan	-2.17	Azalan
Dev-60637	2.41	Artan	8.81	Artan	13.22	Artan	8.11	Artan
Dev-54157A	2.72	Artan	19.49	Artan	59.74	Artan	14.90	Artan
Dev-54157B	2.48	Artan	9.09	Artan	9.16	Artan	7.88	Artan
Dev-54158	2.93	Artan	31.23	Artan	86.24	Artan	22.32	Artan
Dev-54159A	2.13	Artan	14.88	Artan	21.41	Artan	13.67	Artan
Dev-54159B	2.54	Artan	9.71	Artan	12.63	Artan	9.00	Artan
Dev-54160	2.26	Artan	20.06	Artan	29.17	Artan	17.93	Artan
Dev-54161	2.56	Artan	21.44	Artan	20.69	Artan	17.82	Artan
Dev-54162	1.66	-	10.10	Artan	12.22	Artan	10.42	Artan
Dev-54163A	-2.00	Azalan	-8.76	Azalan	-5.93	Azalan	-8.71	Azalan
Dev-54163B	-2.30	Azalan	-3.33	Azalan	-2.96	Azalan	-3.19	Azalan
Dev-60638	2.40	Artan	10.54	Artan	17.34	Artan	9.24	Artan
Dev-61830	1.91	-	1.91	-	2.30	Artan	1.99	Artan

İNVSİN testi ile yapılan trend analizinde alt havzalarda sonuç 3 istasyon haricinde artan eğilim olarak gözlenmiştir. 54157 istasyonunda eğilim artan yöndedir. Şekil 3.12'de verilen grafiklerde bu eğilim tarafsız eksen üzerine yerleşen dağılımla temsil

edilir. Özellikle ortalamanın üzerindeki değerlerde(30-35m) artış belirgindir.54158 istasyonunda eğilimin artış yönünde olduğu tarafsız eksenden uzakta olması ile oldukça belirgindir. 54161 istasyonu düşük değerlerden itibaren artış eğilimi göstermektedir. Yeraltı suyu seviyelerinde Develi alt havzasında yer alan 54158 ve 54161 istasyonları en uzun kayıtlara sahip iki istasyondur. Alt havzanın genelinde gözlenen artış yönündeki eğilim bu istasyonda 1973-2018 döneminde seviyelerin giderek daha hızlı derinleştiğinin işaretidir. Özellikle 54161 istasyonunda düşük seviyelerden itibaren hızlı bir artış grafikten açıkça görülmektedir. 54163 istasyonu önceki testlerde azalan eğilime sahip olan ancak İNVŞEN testinde eğilim göstermeyen istasyonlardandır. Grafikten görüleceği üzere azalan eğilim ortalamanın biraz üstündeki değerlerde vardır ancak ortalama bu eğilim baskın değildir. Boğazlıyan alt havzasında yer alan 60078 istasyonu özellikle üst değerlerde daha fazla artan eğilime sahiptir. Tarafsız eksenden uzaklaşan veri dağılımı bunun işaretidir. LR testinde azalma eğilimine sahip 59667 istasyonunda eğilim tarafsız eksenin hem alt hem üstünde gözlenmektedir. Ancak ortalama belirgin bir eğilim söz konusu değildir. Yeraltı suyu seviyelerine göre eğilimlerin alt havzalarda dağılımları Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kızılırmak Havzası aylık yeraltı suyu seviye serisi için Yenilikçi Şen eğilim testi grafikleri



Şekil 3.13. Kızılırmak Havzası aylık yeraltı suyu seviye serisi için eğilimlerin havzada dağılımları

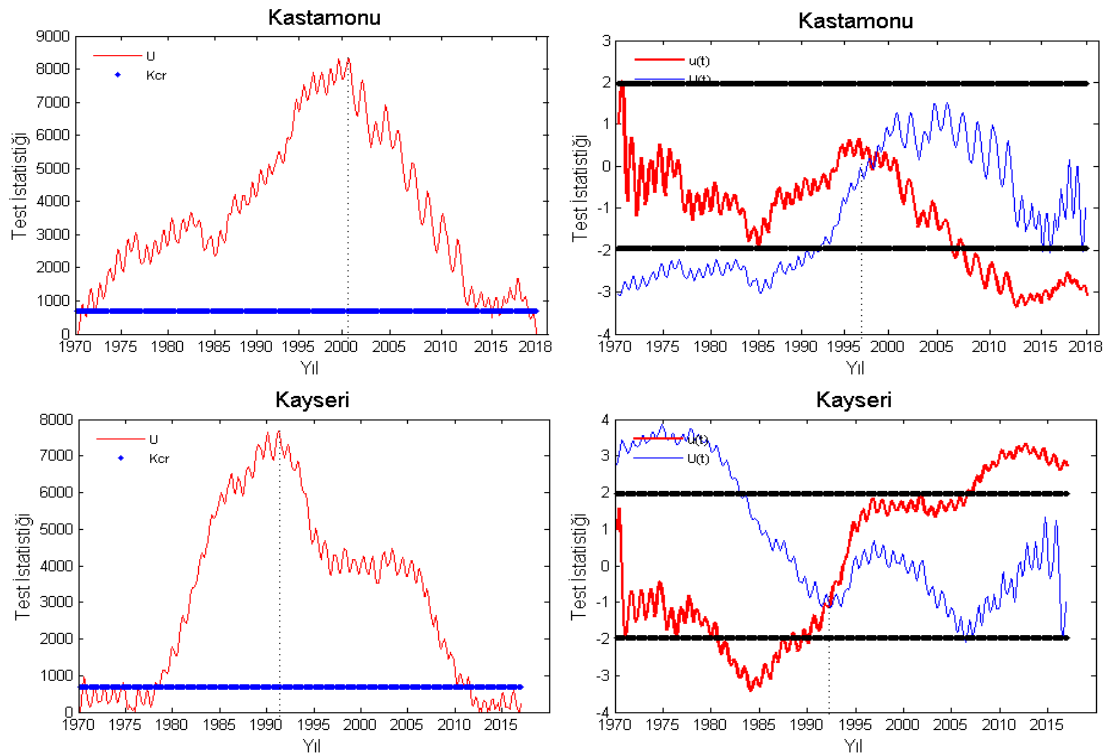
3.4. Kızılırmak Havzasında Meteorolojik Veriler ile Akım Gözlem ve Yeraltı Suyu Seviye Ölçümlerinde Değişim Noktası Analizi

Kızılırmak havzasında eğilimlerin belirlenmesinin ardından eğilimlerin başlangıç noktasını belirlemek amacıyla önceden oluşturulmuş zaman serilerine Pettitt testi(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon testi(MKMK) uygulanmıştır. Eğilimleri belirlenen aylık ortalama buharlaşma zaman serilerinde elde edilen sonuçlar ve değişim noktaları Tablo 3.9’da verilmiştir. PT testinde sıra değeri kırılma noktasını temsil eder. Bu değer PT testine ait grafikte %95 güven seviyesinde maksimum noktanın sıralamadaki yeridir. Kastamonu istasyonunun kırılma noktası olarak belirlenen sıra 219. ay olarak tespit edilmiştir. Bu sıra numarası 2000 yılının Ekim ayına denk gelmektedir. Bütün istasyonlarda elde edilen değişim noktası bu şekilde elde edilmektedir. MKMK testi grafiğinde $u(t)-U(t)$ ‘nin güven sınırları içinde kesiştiği yer değişim noktasını, kesişmeden sonra izlediği yön ise trendin yönünü göstermektedir. Kastamonu grafiğine baktığımızda, 1997 yılında kesişen bir grafik ve kesişmeden sonra trendin yönünü temsil eden $u(t)$ çizgisinin aşağı yönlü hareketi görülmektedir. Bu 1996-1997 aralığında azalan yönlü eğilimin başladığını göstermektedir.

Tablo 3.9. Kızılırmak havzasına ait aylık ortalama buharlaşma zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

Buharlaşma			Pettitt	
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Kastamonu	Azalan	100	219	2000-Ekim
Çankırı	Artan	75	128	1991-Mayıs
Kırıkkale	Azalan	75	102	2003-Mart
Kayseri	Artan	75	149	1991-Kasım
İlgaz	Artan	75	129	2005-Mayıs
Zara	Artan	25	152	1998-Ocak

Pettitt testi (PT) ve Mann-Kendall Mertebe Korelasyon (MKMK) testi ile aylık buharlaşma serilerinde yapılan analizlerin sonuçları Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Kayseri istasyonunda PT grafiği maksimum noktasına 149. ayda ulaşmış ve 1991 yılının Kasım ayında eğilimin başladığı tespit edilmiştir. MKMK grafiğine bakıldığında kesişimin 1992 yılında gerçekleştiği ve bu noktadan sonra grafiğin yukarı doğru yani artan şekilde devam ettiği görülmektedir. $U(t)$ ve $u(t)$ çizgileri kesişmeden önce ne kadar uzun süre geçerse, eğilim o kadar kuvvetlidir. MKMK grafiğine göre Kastamonu ve Kayseri istasyonlarında eğilim kuvvetlidir.



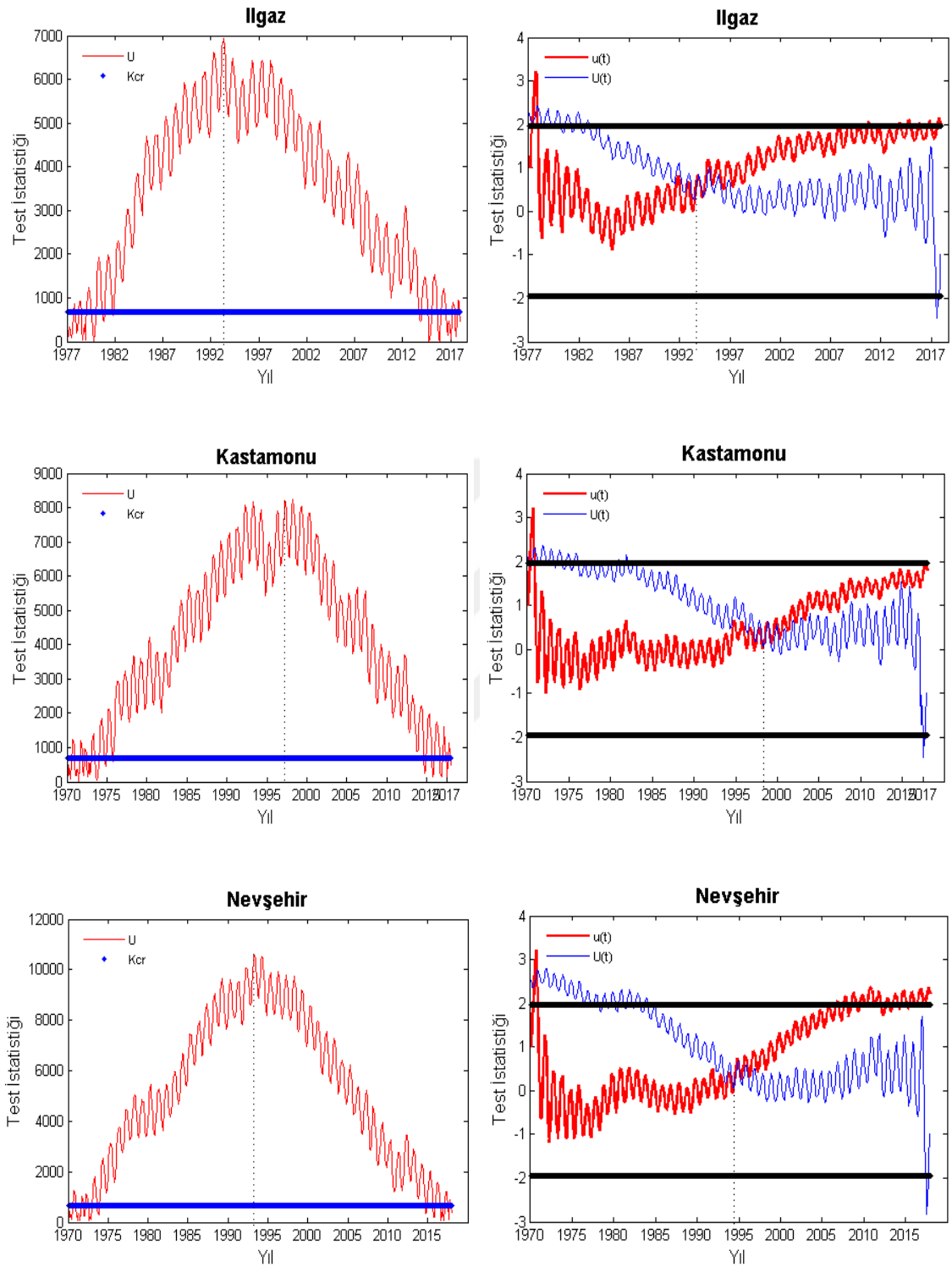
Şekil 3.14. Kızılırmak havzasına ait aylık buharlaşma zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

Maksimum sıcaklık serilerinde MKMK testi ve PT analizinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.10’da sunulmuştur. Maksimum sıcaklıklarda trendin tespit edildiği istasyonların hepsinde artan trend gözlenmiştir. Havza genelinde 6 istasyonda 1993 ve 1994 döneminde sıcaklıkların artmaya başladığı değişim noktası analizleri ile tespit edilmiştir. Kastamonu ve Kaman istasyonlarında ise artışlar 1997-1998 döneminde başlamıştır.

Tablo 3.10. Kızılırmak havzasına ait aylık maksimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

Maksimum Sıcaklık				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Kastamonu	Artan	50	339	1998-Mart
Yozgat	Artan	100	280	1993-Nisan
Kırşehir	Artan	100	280	1993-Nisan
Nevşehir	Artan	100	280	1993-Nisan
İlgaz	Artan	100	196	1993-Nisan
Tosya	Artan	100	280	1993-Nisan
Kaman	Artan	75	335	1997-Kasım
Ürgüp	Artan	100	277	1994-Mart

Şekil 3.15’te Maksimum sıcaklıklara ait değişim noktası grafiklerinden bazıları sunulmuştur. İlgaz istasyonuna ait PT testi grafiğinde maksimum noktası güven seviyesinin üzerinde yer almakta ve 1993 yılını işaret etmektedir. MKMK testi grafiğinde $u(t)$ ve $U(t)$ ’nin ilk kesişim noktalarından 1993 yılının değişim noktası olduğu ve $u(t)$ ’nin yukarı yönünden trendin yönünün artan olduğu belirlenmektedir. Kastamonu istasyonunda PT maksimum nokta ve MKMK testi kesişim noktalarına göre değişimin 1998 yılında başladığı tespit edilmiştir. Nevşehir istasyonunda PT göre 1993 yılında olan değişim noktası MKMK testinde 1994 yılına daha yakın olarak tespit edilmiştir. Maksimum sıcaklıklarda gözlenen artan eğilimin başlangıcı 1993-94 ve 1998 dönemlerine rastlamaktadır. Ülkemizde gözlenen şiddetli kuraklıklar dikkate alındığında 1993 ve 1998 yıllarında kuraklıkların Türkiye genelinde hissedildiği ve özellikle kurak ve yarı-kurak coğrafyalarda daha etkili olduğu görülmektedir(Turkes, 2008).Türkiye genelinde yapılan çalışmalarda sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu belirtilmektedir(Kızılelma vd., 2015).



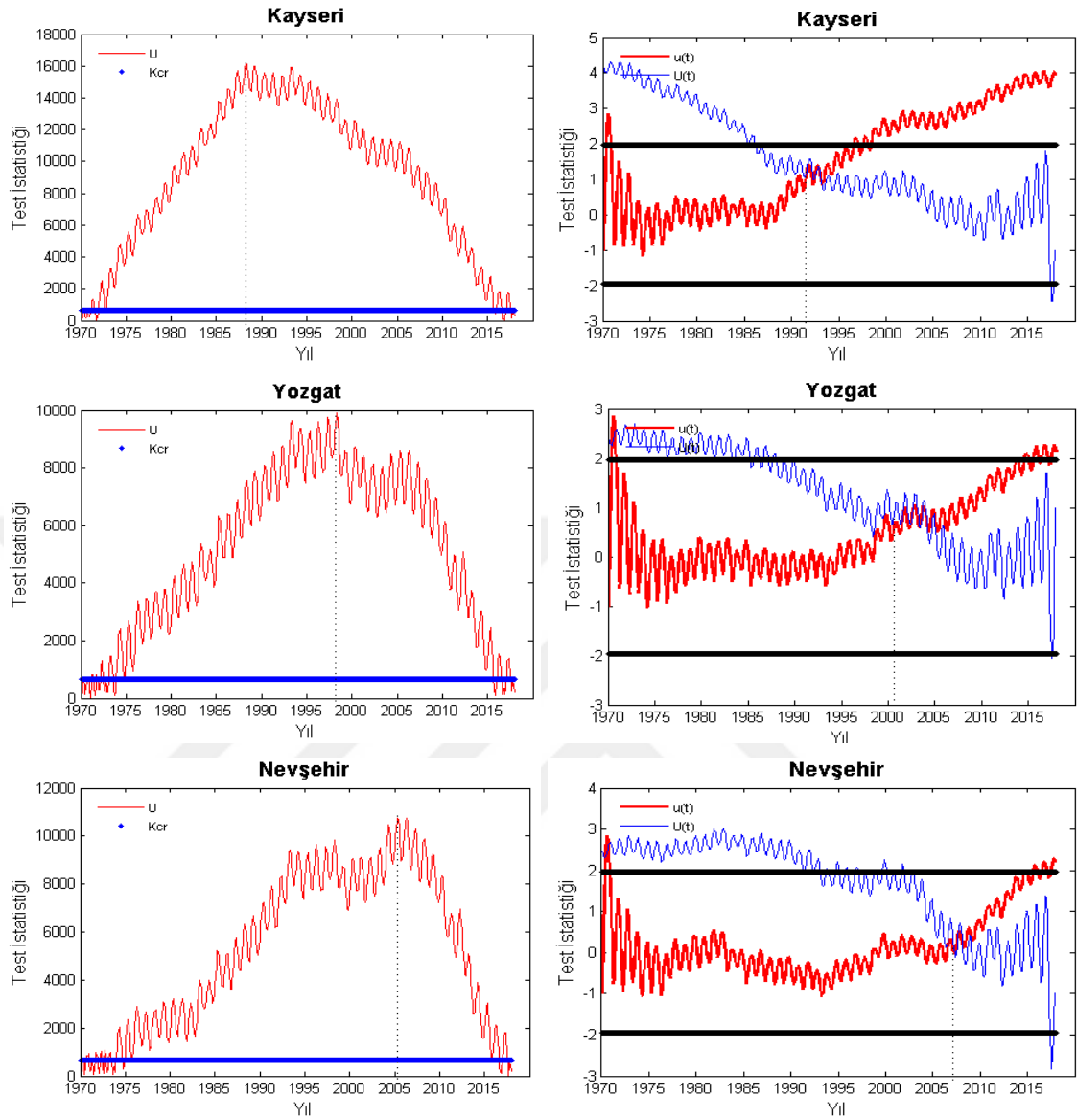
Şekil 3.15. Kızılırmak havzasına ait aylık maksimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

Tablo 3.11’de Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonlarının minimum sıcaklık serilerinde değişim noktası analizlerinden %95 güven seviyesinde elde edilen PT testi nümerik sonuçları sunulmuştur. Havza genelinde eğilim gösteren 7 istasyondan 5 istasyon minimum sıcaklıklarda artışın başlangıç zamanını 1997-1998 dönemi olarak tespit etmiştir. Sadece Kayseri ve Nevşehir istasyonu sırasıyla 1988 ve 2005 yıllarında artışın başladığını göstermiştir. Şekil 3.16’da Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonlarının minimum sıcaklık serilerinde PT ve MKMK testleri ile yapılan değişim noktası analizinin sonuçları grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3.11. Kızılırmak havzasına ait aylık minimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) testine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

Minimum sıcaklık				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Sivas	Artan	25	340	1998-Nisan
Yozgat	Artan	75	340	1998-Nisan
Nevşehir	Artan	100	424	2005-Nisan
Kayseri	Artan	100	219	1988-Mart
Bafra	Artan	75	340	1998-Nisan
Kaman	Artan	25	336	1997-Aralık
Develi	Artan	100	340	1998-Nisan

Minimum sıcaklık serilerinde PT testi ile MKMK testi sonuçlarında değişim noktaları tespitinde küçük farklılıklar gözlenmiştir. Kayseri istasyonunda PT testine göre değişim noktası 1988 yılı olarak tespit edilmiş ancak MKMK testi grafiğinde değişim noktası birkaç yıl daha geç 1991 yılı olarak tespit edilmiştir. Değişim başlangıcı Yozgat istasyonunda PT testi sonucuna göre 1998 yılı, MKMK testine göre 2000 yılı olarak elde edilmiştir. Nevşehir istasyonunda ise bir yıllık kayma ile PT testi 2005, MKMK testi 2006 yıllarını değişim noktası olarak tespit etmiştir. Ancak genellikle değişimin 1998 döneminde başlaması kurak yıllar ile uyum sağlamaktadır.



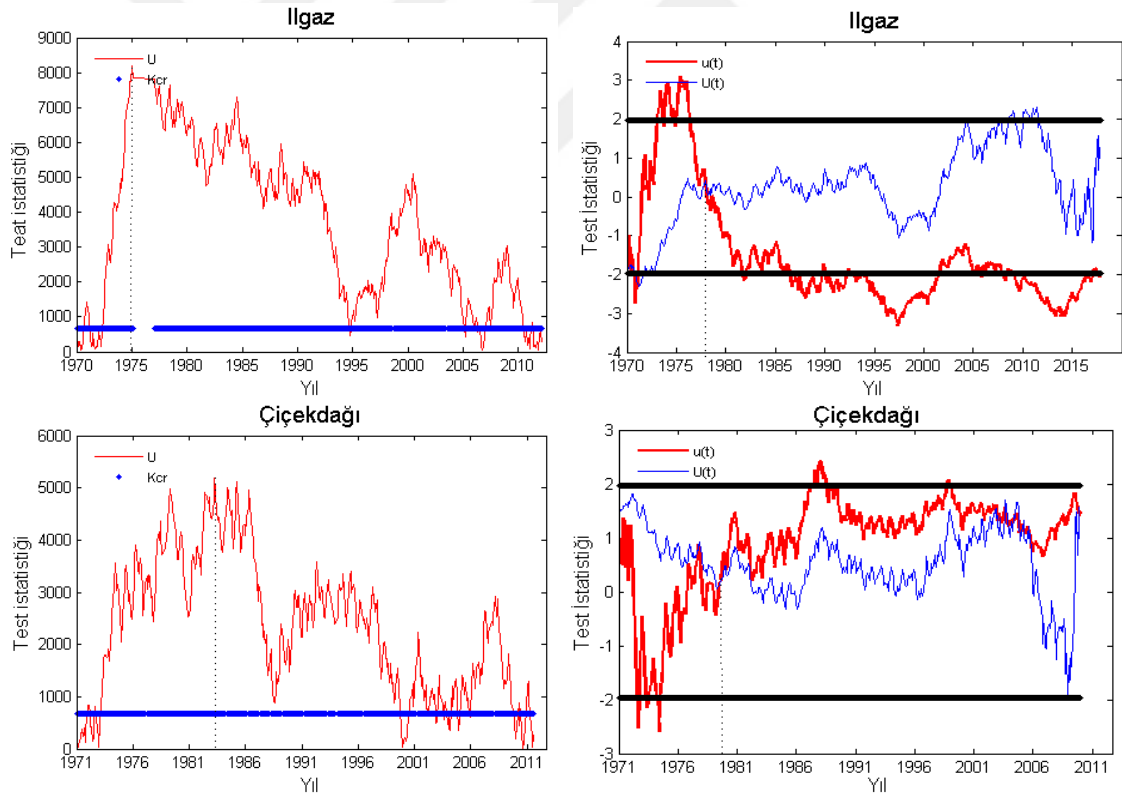
Şekil 3.16. Kızılırmak havzasına ait aylık minimum sıcaklık zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

Tablo 3.12’de Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonlarının aylık yağış serilerinde değişim noktası analizi için PT testi nümerik sonuçları verilmiştir. Havza genelinde eğilim gösteren 4 istasyondan Ilgaz istasyonu PT testine göre 1975’ten itibaren yağışlarda azalma olduğunu göstermektedir. 1970’li yıllardan itibaren etkili olan iklim koşulları sebebiyle özellikle nemli bölgelerde yağışlarda azalma gözlenmiştir. ve Şekil 3.17’de aylık yağış serilerinde değişim noktası analizi için PT ve MKMK testi grafikleri sunulmuştur.

Tablo 3.12. Kızılırmak havzasına ait aylık yağış zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

Yağış				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Kastamonu	Artan	25	327	1997-Mart
Ilgaz	Azalan	75	60	1974-Aralık
Osmancık	Artan	25	231	1994-Mart
Çiçekdağı	Artan	25	145	1983-Temmuz

Şekil 3.17’de verilen Yağış serileri için değişim noktası grafiklerinde Ilgaz istasyonu MKMK testi grafiğinde 1977 yılından itibaren eğilimin başladığını göstermektedir. Ilgaz istasyonuna ait MKMK grafiğinden $u(t)$ çizgisinin aşağı doğru hareketinden eğilimin azalan olduğu da gözlenmektedir.



Şekil 3.17. Kızılırmak havzasına ait aylık yağış zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

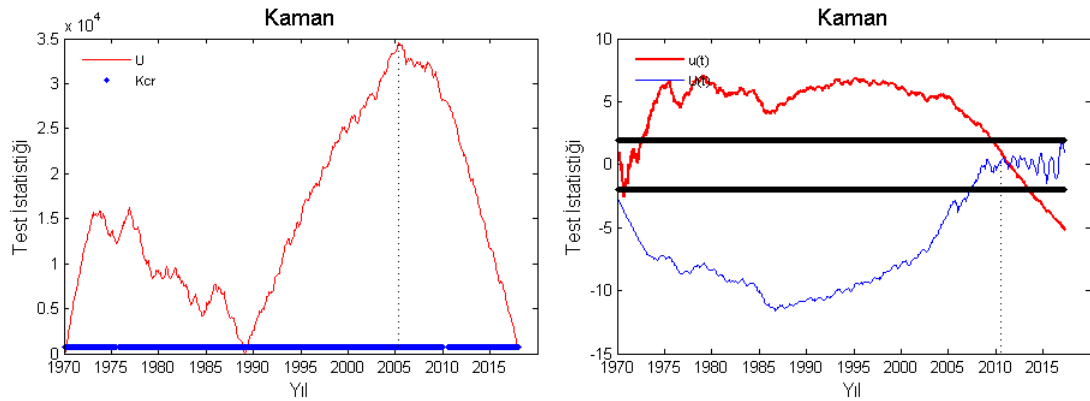
Çiçekdağı istasyonunda PT testine ait nümerik sonuçlardan ve Şekil 3.17’de maksimum noktasının izdüşümünden değişim noktası 1983 yılı olarak tespit edilmiştir. MKMK testi grafiğinde ise artan eğilimin başlangıcı güven sınırlarında 1980 yılı olarak tespit

edilmiştir. Çiçekdağı MKMK testi grafiğinde 1980 yılı sonrasında da kesişmeler bulunmaktadır. Bu kesişmeler o noktalarda değişim noktası olduğunu ifade etmektedir. Grafik incelendiğinde 1983 yılında bir kesişme olduğu görülmektedir. Osmancık ve Kastamonu istasyonu gözlenen artan eğilimler sırasıyla 1994 ve 1997 yıllarında trende başlamıştır.

Tablo 3.13. Kızılırmak havzasına ait aylık rüzgâr hızı zaman serilerinin Pettitt testlerine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

Rüzgâr hızı				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Çankırı	Artan	75	420	2004-Aralık
Sivas	Azalan	100	188	1985-Ağustos
Kırıkkale	Artan	75	187	1985-Temmuz
Yozgat	Azalan	100	248	1990-Ağustos
Kırşehir	Artan	25	61	1975-Ocak
Gemerek	Azalan	100	307	1995-Temmuz
Nevşehir	Azalan	100	248	1990-Ağustos
Kayseri	Azalan	100	321	1996-Eylül
İlgaz	Azalan	100	212	1994-Ağustos
Tosya	Artan	75	173	1984-Mayıs
Osmancık	Azalan	100	221	1994-Mayıs
Çiçekdağı	Azalan	100	399	2005-Mart
Kaman	Azalan	75	421	2005-Ocak
Boğazlıyan	Artan	75	93	1989-Eylül
Develi	Artan	75	196	1986-Nisan

Kızılırmak havzasına ait rüzgâr hızı serilerinde yapılan değişim noktası analizlerinde PT testine göre elde edilen sonuçlar Tablo 3.13'te verilmiştir. Nümerik sonuçlara bakılarak 1975-2005 yılları arasında farklı zamanlarda değişimin başladığı tespit edilmiştir. Şekil 3.18'de Kırşehir, Kaman ve Çankırı istasyonlarına ait değişim noktası analiz sonuçları verilmiştir. Sonuçlar arasında birkaç yıl gecikme bulunmaktadır. Kırşehir istasyonu için PT testi 1975 yılını, MKMK testi 1973 yılını değişim noktası olarak tespit etmiştir. Kaman istasyonunda PT testi 2005 ve MKMK testi 2010 yıllarını değişim noktası olarak işaret etmektedir.



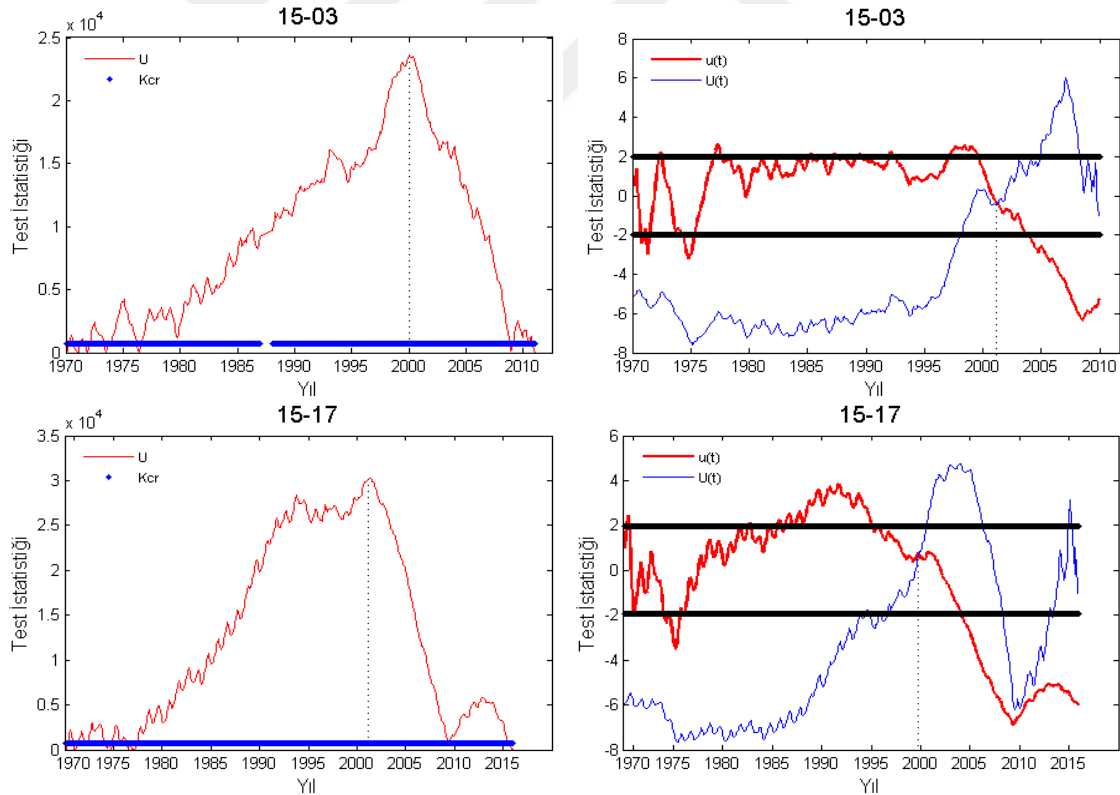
Şekil 3.18. Kızılırmak havzasına ait aylık rüzgâr hızı zaman serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

Kızılırmak havzasına ait aylık akım serilerinin Pettitt testi ile elde edilen sonuçlar Tablo 3.14'te gösterilmiştir. Tabloda ayrıca akım istasyonuna yakın meteoroloji istasyonları hakkında bilgi verilmiştir. Havzada akımlarda meydana gelen eğilimlerin 1975, 1985, 1995 ve 2000 dönemlerine rastladıkları görülmektedir. Kayseri sınırlarında yer alan 15-01 istasyonunda 2008 yılından itibaren azalan eğilim gözlenmiştir. Bu istasyonun Yamula barajının yakın çevresinde yer alması sebebiyle baraj ve ona bağlı etmenlerin etkisinde olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.14. Kızılırmak havzasına ait aylık akım serilerinin Pettitt testine göre eğilimleri ve değişim noktası sonuçları ve yakın istasyonlar

Akım				Pettitt	Yakın
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası	Meteoroloji İst.
1	Azalan	25	464	2008-Mayıs	Kayseri
3	Azalan	100	348	1999-Eylül	Kırıkkale
8	Artan	100	180	1976-Eylül	Boğazlıyan
17	Azalan	75	376	2001-Ocak	Yozgat
38	Azalan	100	165	1984-Haziran	İlgaz
39	Artan	50	399	2004-Aralık	Sivas
67	Artan	50	29	1975-Şubat	Keskin
68	Artan	100	264	1986-Eylül	Keskin
108	Azalan	75	331	1994-Nisan	Nevşehir
152	Azalan	75	181	1985-Eylül	Kırşehir
182	Azalan	100	237	2000-Haziran	Kırşehir
190	Azalan	100	114	1994-Mart	Çiçekdağı
208	Azalan	50	55	1989-Nisan	Kaman
242	Azalan	100	45	1993-Haziran	Kırşehir

PT testine göre Kırıkkale yakınlarında bulunan 15-03 ve Yozgat yakınlarındaki 15-17 istasyonlarında azalma 2000’li yıllarda başlamaktadır. MKMK testi için de güven sınırları dahilinde değişim noktasının Şekil 3.19’da verilen grafiklerden 2000-2001 dönemi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun Türkiye genelinde 1998 yılında yaşanan şiddetli kuraklıkla ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Havza genelinde akımların değişimi azalan yönü izlemektedir. Sadece Keskin sınırlarında yer alan 15-67 ve 15-68 istasyonlarında sırasıyla 1975 ve 1986 yıllarında artan eğilim görülmüştür. Bu iki istasyonda kayıtlı verinin 1960’lı yıllarda başlayıp 1994’e kadar devam etmesinden kaynaklı olarak, 1994 ve sonrasında meydana gelen iklimsel ve çevresel değişimlerden etkilenmediği için artan yönde eğilimin devam ettiği düşünülmüştür. Kırşehir il sınırları içerisinde yer alan 15-152 ve 15-208 istasyonları 1985-1990 döneminde, 15-190 ve 15-242 istasyonları ise 1993-94 döneminde azalma eğilimi göstermişlerdir. 15-182 istasyonunda azalma eğilimi 2000’li yıllarda başlamıştır.



Şekil 3.19. Kızılırmak havzasına ait aylık akım serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

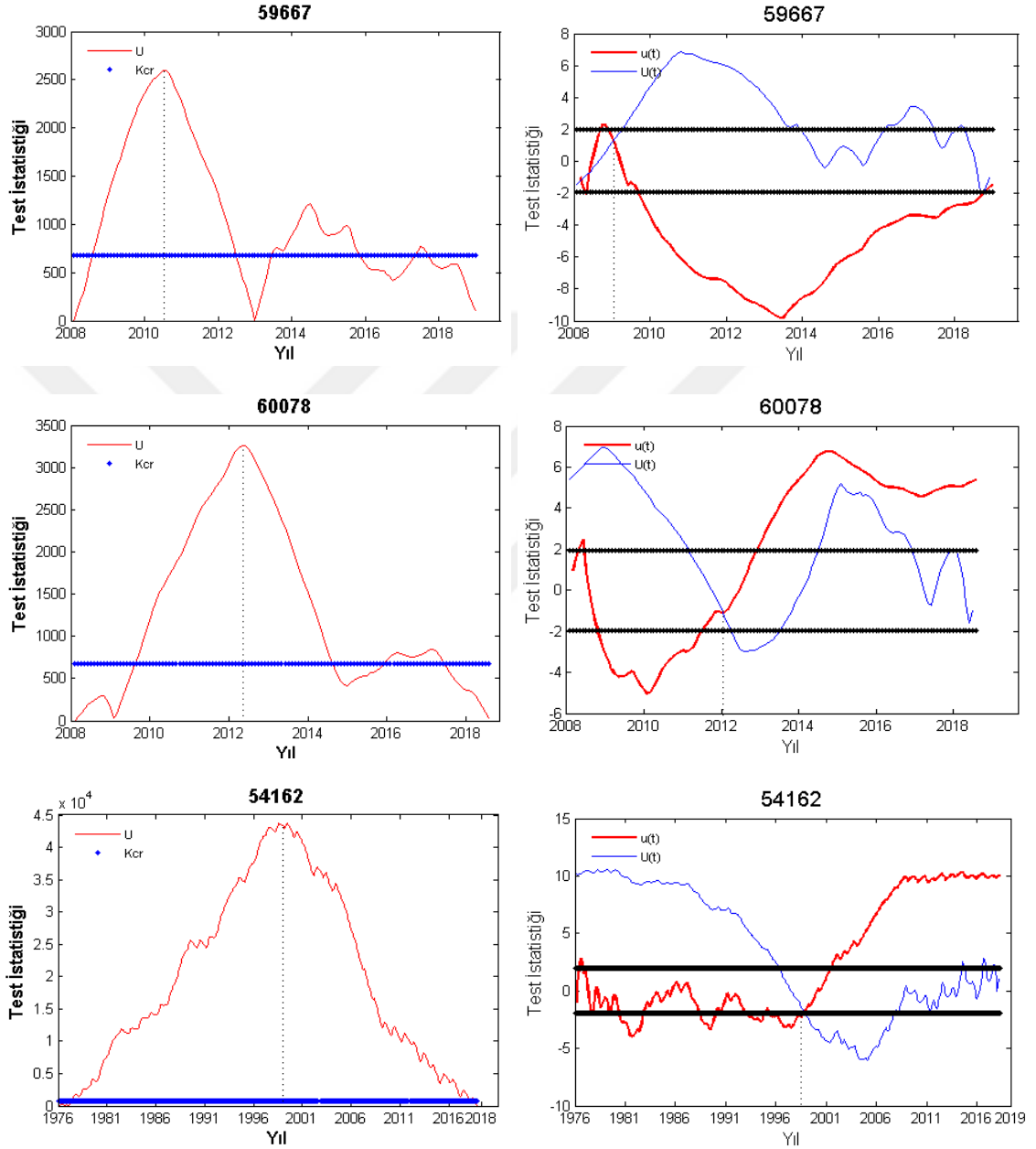
Kızılırmak havzasına ait yeraltı suyu kuyularının değişim noktası analizlerinin sonuçları Tablo 3.15 ve Şekil 3.20’de verilmiştir. Değişimlerin başlangıç yıllarının uzun dönemli

ve kesintisiz veriye sahip birkaç istasyonda 1995 ve sonrası olduğu gözlenmektedir. Develi alt havzasında bulunan 54157, 54158, 54159, 54160, 54161, 54162 ve 54163 istasyonlarında 1960'lı yıllardan itibaren bulunan kayıtlar vardır. Ancak 54157,54159 ve 54163 istasyonlarında ara dönemlerde(en az 5-10 yıllık) bulunan eksikler nedeniyle ikinci kısım üzerinde yapılan PT ve MKMK testi sonuçları dikkate alınmıştır. 54158, 54160, 54161 ve 54162 istasyonlarında artan eğilimin başlangıcı 1996-2001 döneminde gerçekleşmektedir. 54161 istasyonunda 1996, 54158 istasyonunda 1997 ve 54162 istasyonunda 1999 yılları artışın başlangıç dönemleri olarak tespit edilmiştir. 54157 ve 54163 istasyonları için eğilim başlangıcı 2008 olarak belirlenmiştir. Ancak 2005 ve sonrasında kayıtlara sahip istasyonlarda eğilimler 2012-2015 yılları arasında değişmektedir. Kırşehir alt havzasında yeni açılan ve kayıtları bulunan kuyular 2012-2014 döneminde artan eğilime başlamışlardır. Boğazlıyan alt havzasında yer alan istasyonlar ise 2009-2012 döneminde eğilim göstermişlerdir.

Tablo 3.15. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Pettitt testi eğilimleri ve değişim noktası sonuçları

YAS			Pettit	
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim Noktası
Kır-16988	Artan	100	31	2017 -Haziran
Kır-49739	Artan	100	36	2014-Eylül
Kır-19076	Artan	50	113	2014-Haziran
Kır-53215	Artan	100	78	2014-Haziran
Kır-56151	Artan	100	74	2014-Şubat
Kır-57515	Artan	75	128	2013-Haziran
Bğz-59666	Artan	75	65	2013-Mayıs
Bğz-59667	Azalan	25	30	2010-Haziran
Bğz-60078	Artan	75	53	2012-Ekim
Dev-59669	Artan	100	53	2012-Mayıs
Dev-55350	Artan	100	66	2015-Haziran
Dev-55362	Azalan	50	54	2014-Haziran
Dev-60637	Artan	100	65	2015-Nisan
Dev-54157	Artan	100	110	2008- Haziran
Dev-54158	Artan	100	254	1997-Nisan
Dev-54159	Artan	100	108	2012-Mayıs
Dev-54160	Artan	100	300	2001-Şubat
Dev-54161	Artan	100	283	1996-Eylül
Dev-54162	Artan	75	281	1999-Temmuz
Dev-54163	Azalan	100	101	2008-Mayıs

Yeraltı suyu seviye serilerinde PT ve MKMK testi grafiklerinden havzalar arasında eğilimin başlangıcı arasında birkaç yıllık farklılık bulunsada genelde aynı dönemlerde değişim noktası belirlemiştir.



Şekil 3.20. Kızılırmak havzasına ait yeraltı suyu seviye serilerinin Pettitt(PT) ve Mann Kendall Mertebe Korelasyon(MKMK) testlerine göre sonuçları

1970-2017 yılları arasında Kızılırmak havzasında yer alan 20 meteoroloji istasyonu istasyonundan elde edilen Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık, yağış, buharlaşma ve rüzgâr hızı verileri kullanılarak havza bazlı eğilim analizi yapılmıştır. Meteorolojik parametrelerin yanında hidrolojik parametrelerin iklim değişiminden

etkilenme düzeyini araştırmak amacıyla akım gözlem istasyonlarından(AGİ) elde edilen akım verileri ve yeraltı suyu kuyularından elde edilen su seviye verileri de kullanılmıştır. Eğilim analizinde kullanılan yöntemler için elde edilen sonuçlar ve eğilimler her bir parametre önceki bölümde ayrı ayrı tablolarla sunulmuştur. Eğilimlerin havzada dağılımları haritalar ile gösterilmiştir. İncelenen bütün meteorolojik parametreler Tablo 3.16’da ve hidrolojik parametrelerin özetlenmiş hali Tablo 3.17 ve Tablo 3.18’de verilmektedir.

Havza genelinde maksimum sıcaklıklarda artan eğilim hakimdir. 20 istasyondan 8 istasyonda anlamlı artan eğilimler gözlenmiş ve diğeri istasyonlarda gözlenen eğilimlerin de anlamlı olmasa da Bafra istasyonu hariç artış yönünde oldukları belirlenmiştir. Minimum sıcaklıklar da benzer şekilde istasyonların Ürgüp ve Ilgaz hariç artan eğilime sahip olduğu görölmektedir. Ancak 7 istasyonda istatistiksel olarak anlamlı eğilimler izlenmiştir. Ortalama sıcaklıklarda Çiçekdağı hariç anlamlı eğilime sahip istasyon olmasa da tüm istasyonlarda artış eğilimi vardır. Sıcaklıklarda meydana gelen artışların başlangıç dönemleri ölkemizde yaşanmış şiddetli ve etkili kuraklıklar olan 1989,1993 ve 1998 yılları ile çakışmaktadır. Bu durum iklim değışiminin 1970’li yıllarda etkili olmaya başladığını ve 1990’lı yıllarda şiddetini artırdığını belirten çalışmalarla uyum sağlamaktadır(Türkeş, 2003, Kızılelma vd., 2015, Bayer Altın ve Barak, 2017). Kızılırmak havzasının daha kurak olan İç Anadolu bölgesi sınırlarında bulunan kesimi için kuraklık daha erken başlamış olabilir. Yozgat, Nevşehir ve Kaman istasyonları hem minimum hem de maksimum sıcaklıklarda anlamlı artan eğilimlere sahiptir. Havzada maksimum sıcaklıklarda artış eğilimi 1993 yılı olarak dikkat çekerken, minimum sıcaklıklarda 1998 yılı daha baskındır. Ayrıca, 1998 yılı 1850-2000 dönemi arasında Kuzey ve Güney yarımkürelerde kayda geçmiş en sıcak yıl olmuştur(Türkeş, 2000).

Yağışlarda gözlenen eğilimler anlamlı olmasa da genelde artan yöndedir. Anlamlı olan eğilimlerden ise sadece Ilgaz istasyonu azalan bir eğilime sahiptir. Kastamonu, Osmancık ve Çiçekdağı istasyonları anlamlı artan eğilimlere sahip istasyonlardır ve eğilimlerin başlangıçları farklı dönemlere rastlamaktadır. Eğilimler sırasıyla 1997,1994 ve 1983 yıllarında ortaya çıkmıştır. Türkiye genelinde kış yağışlarında gözlenen azalmalara rağmen, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde yağışlar artış yönündedir(Demir vd., 2008). İklimsel otoriteler tarafında sunulan raporlarda alansal

olarak her bölgenin kendine özgü yapısının yağışlara etkisini de dikkate almakla birlikte Akdeniz ve karasal Akdeniz bölgelerinde azalma ile Karadeniz ile Karasal bölgelerde (İç Anadolu ve Doğu Anadolu'nun kuzeyi) artışların görülebileceği belirtilmiştir. Ancak bazı bölgelerde bu beklentinin dışında yağış olaylarının gerçekleşmesinin mümkün olduğu da belirtilmiştir.

Tablo 3.16. Kızılırmak havzasına ait meteoroloji istasyonlarının eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları

İstasyon adı	Mak. Sıc.		Min. Sıc.		Yağış		Rüzgâr hızı		Buharlaşma	
	Trend	DN	Trend	DN	Trend	DN	Trend	DN	Trend	DN
Kastamonu	↑	1998	-	-	Artan	1997	-	-	Azalan	2001
Çankırı	-	-	-	-	-	-	Artan	2004	Artan	1991
Sivas	-	-	Artan	1998	-	-	Azalan	1985	-	-
Kırıkkale	-	-	-	-	-	-	Artan	1985	Azalan	2003
Yozgat	Artan	1993	Artan	1998	-	-	Azalan	1990	-	-
Kırşehir	Artan	1993	-	-	-	-	Artan	1975	-	-
Gemerek	-	-	-	-	-	-	Azalan	1995	-	-
Nevşehir	Artan	1993	Artan	2005	-	-	Azalan	1990	-	-
Kayseri	-	-	Artan	1988	-	-	Azalan	1996	Artan	1992
Bafra	-	-	Artan	1998	-	-	-	-	-	-
Ilgaz	Artan	1993	-	-	Azalan	1975	Azalan	1994	Artan	2005
Tosya	Artan	1993	-	-	-	-	Artan	1984	-	-
Osmancık	-	-	-	-	Artan	1994	Azalan	1994	-	-
Zara	-	-	-	-	-	-	-	-	Artan	1998
Keskin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Çiçekdağı	-	-	-	-	Artan	1983	Azalan	2005	-	-
Kaman	Artan	1997	Artan	1997	-	-	Azalan	2005	-	-
Boğazlıyan	-	-	-	-	-	-	Artan	1989	-	-
Ürgüp	Artan	1994	-	-	-	-	-	-	-	-
Develi	-	-	Artan	1998	-	-	Artan	1986	-	-

Rüzgâr hızı havza genelinde istatistiksel olarak anlamlı hem azalan hem de artan yönlü eğilimler göstermektedir. Azalan eğilimlerin daha yoğun olduğu görülmektedir. Yozgat, Nevşehir, Ilgaz, Osmancık, Gemerek ve Kayseri istasyonları 1990-1996 döneminde azalma eğilimine geçmişlerdir. Kaman ve Çiçekdağı istasyonlarında azalma eğilimi 2005 yılında gözlenmeye başlamıştır. Benzer dönemlerde artan eğilim gösteren istasyonlarda mevcuttur. 1985-86 döneminde Tosya, Kırıkkale ve Develi istasyonları artan rüzgâr hızı eğilimine sahiptir.

Kızılırmak havzasında buharlaşmanın her iki yönde eğilime sahip olduğu görülmektedir. Kastamonu ve Kırıkkale istasyonları anlamlı azalan eğilim gösteren iki istasyondur ve sırasıyla 2001 ve 2003 yıllarında buharlaşmada eğilim göstermeye başlamışlardır. Kayseri, Çankırı ve Zara istasyonları 90'lı yıllarda anlamlı artan eğilim gösteren üç istasyondur. 2005 yılından itibaren artan eğilim gösteren diğer istasyon ise Ilgaz istasyonudur.

Araştırmaya dahil edilen meteorolojik parametreler ışığında sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı ve buharlaşma verilerinin arasında belirgin bir ilişki olduğu söylenemez. Ancak kurak dönemlerle çakışan sıcaklık ve yağış eğilimlerinin iklim değişikliğinden etkilenmiş olma ihtimali yüksektir. Çevresel etmenler dikkate alınarak, nüfus artışı, su kullanımında artış, baraj ve su yapıları, ormanların azalması ve şehirleşme gibi insan kaynaklı etkilerin hem iklim değişimine hem de incelenen meteorolojik parametrelere etkisi söz konusudur.

Tablo 3.17. Kızılırmak havzasına ait akım gözlem istasyonlarının eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları

Akım			
İstasyon adı	Trend	Değişim Noktası	Yakın Met. İst.
15-01	Azalan	2008	Kayseri
15-08	Artan	1976	Boğazlıyan
15-03	Azalan	1999	Yozgat
15-17	Azalan	2001	Nevşehir
15-38	Azalan	1984	Ilgaz
15-39	Artan	2004	Sivas
15-67	Artan	1975	Keskin
15-68	Artan	1986	Keskin
15-108	Azalan	1994	Nevşehir
15-152	Azalan	1985	Kırşehir
15-182	Azalan	2000	Kırşehir
15-190	Azalan	1994	Çiçekdağı
15-208	Azalan	1989	Kaman
15-242	Azalan	1993	Kırşehir

Kızılırmak havzasında araştırmaya dahil edilen istasyonların genelinde azalan eğilim gözlenmiştir. Tablo 3.17'de görüleceği gibi 4 istasyon hariç diğer istasyonlar azalan

eğilime sahiptir. Akımların düşüşe geçtiği değişim noktalarına bakılarak kuraklığın etkilediği dönemlerle yakından ilişkili olduğu görülmektedir. 1984-85 döneminde 15-38(İlgaz) ve 15-152(Kırşehir) istasyonlarının, ardından 1989 ve 1993 yıllarında 15-208(Kaman) ve 15-242(Kırşehir) istasyonların akım değerlerinde düşüşler başlamıştır. 1994 yılında 15-190(Çiçekdağı) ve 15-108(Nevşehir) istasyonları ile 1999-2001 döneminde 15-03(Kırıkkale), 15-182(Kırşehir) ve 15-17(Yozgat) istasyonlarında azalmaların başlangıç noktası olarak tespit edilmiştir. Sadece 15-01(Kayseri) istasyonunda azalmanın başladığı yıl 2008 olarak tespit edilmiştir. 1984,1989,1993-94 ve 1998-2000 yılları ülkemizde kuraklığın etkili olduğu yıllardır. Ayrıca yağışlarda İlga istasyonunda gözlenen azalma(1975) 15-08 istasyonunda 1984 yılında akımlarda azalma olarak paralel devam etmektedir. Kırşehir istasyonunda maksimum sıcaklıklarda 1993 yılından itibaren artan eğilim gözlenirken, akımlarda Kırşehir çevresindeki istasyonlarda genel olarak 1989-2000 arasındaki dönemde azalmalar gözlenmiştir. Sıcaklıklarda gözlenen artışlar ile ters yönlü azalmalar akımlarda iklimin etkisi olduğu düşünülse de bazı istasyonların çevresinde kurulan barajların da bu azalmalarda katkısı olduğu düşünülmektedir. Kızılırmak nehrinin üzerine yapılan barajlardan biri olan Hirfanlı ve Kesikköprü barajlarının 15-152,15-182 ve 15-242 istasyonlarında gözlenen azalan eğilime katkısı olduğu düşünülmektedir. 15-17 istasyonu Şefaatli-Yozgat yakınlarında yer almakta ve 2001 yılından itibaren azalma eğilimi göstermektedir. İstasyonun konumlandığı bölgede sırasıyla 1995 yılında Uzunlu ve 1997 yılında Gelingüllü barajları işletmeye açılmıştır. Kayseri ili sınırlarında yer alan 15-01 yamula istasyonunda 2008 yılından itibaren gözlenen düşüşlerin ise 2005 yılında açılmış olan Yamula barajı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Hem iklim değişikliği ve kuraklığın hem de barajların işletmeye açılması, şehirleşme ve nüfus artışı gibi çevresel etmenlerin birleşen etkilerinin ortaya çıkan bu düşüşlere sebep olduğu düşünülmektedir.

Artan eğilime sahip olan istasyonlardan 15-67,15-68 keskin yakınlarında bulunmakta ve kayıtları 1960-1990 dönemini kapsamaktadır.1992'ye kadar süren soğuk dönemle birlikte akımların artışa geçtiği ve kayıtlarının 1990 yılından sonra olmaması sebebiyle eğilimlerinin artan olduğu düşünülmüştür. Ancak son dönemlere kadar kayıtlı veriye sahip olan 15-39(Sivas-Bulakbaşı) istasyonu Sivas merkezden uzak ve kırsal alanda yer alması ve yağışlarında anlamlı olmasa da artış eğiliminin gözlenmesi sebebiyle artan eğilime sahip olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.18. Kızılırmak havzasına ait yeraltı suyu seviyelerinin eğilim ve değişim noktası analizi sonuçları

YAS			
İstasyon adı	Alt havza	Trend	Değişim Noktası
54161	Develi	Artan	1996-Eylül
54158	Develi	Artan	1997-Nisan
54162	Develi	Artan	1999-Temmuz
54160	Develi	Artan	2001-Şubat
54157	Develi	Artan	2008-Haziran
54163	Develi	<i>Azalan</i>	2008-Mayıs
59667	Boğazlıyan	<i>Azalan</i>	2010-Haziran
60078	Boğazlıyan	Artan	2012-Ekim
59669	Develi	Artan	2012-Mayıs
54159	Develi	Artan	2012-Mayıs
57515	Kırşehir	Artan	2013-Haziran
59666	Boğazlıyan	Artan	2013-Mayıs
49739	Kırşehir	Artan	2014-Eylül
19076	Kırşehir	Artan	2014-Haziran
53215	Kırşehir	Artan	2014-Haziran
55362	Develi	<i>Azalan</i>	2014-Haziran
60638	Develi	Artan	2014-Haziran
56151	Kırşehir	Artan	2014-Şubat
55350	Develi	Artan	2015-Haziran
60637	Develi	Artan	2015-Nisan
16988	Kırşehir	Artan	2017 -Haziran
61830	Develi	Artan	2017-Haziran

Yeraltı suyu seviyeleri eğilim ve değişim noktası analizlerinin sonuçları Tablo 3.18’de gösterilmiştir. Develi alt havzasında bulunan istasyonlarda seviye düşmelerinin hızlanması yani artan eğilimin başlaması 1996 sonbaharında gerçekleşmiştir. Ancak sırasıyla aynı alt havzada yer alan yeraltı suyu kuyularında 1996-2001 dönemi ve 2008 yıllarında kuyulardan su çekilmelerinin arttığı gözlenmektedir. Türkiye’de gerçekleşen kuraklıklardan en etkili ve şiddetli olanlarının gerçekleştiği dönemlerden birisi 1996-2001 dönemini kapsar.(Türkeş,2008). Özellikle bu dönemde yağışların 2001 ve sonrasında normallerinin altında kalması ve üst üste gelen kuraklıklar sebebiyle su ihtiyacının özellikle de tarımsal su ihtiyacının artması su kaynaklarının daha hızlı tüketilmesine sebep olmuştur. Tarım ekonomisinin güçlü ve tarımsal alanların geniş

olduğu Kızılırmak havzasında sulamaya duyulan ihtiyacın ve kentsel hizmetler ile insanın yaşam kaynağı olan suyun temin edilmesinde başvuru olan ilk kaynak yeraltı suları olmuştur. Sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve şehirleşmenin suya olan ihtiyacı artırması; buna ek olarak havaların daha sıcak iklimin daha kurak olması kuyularda artan eğilimin sorumlusu olarak düşünülmektedir. Benzer şekilde artan eğilime sahip kuyularda Kırşehir ve Boğazlıyan alt havzalarında eğilimin yine kurak yıllarla paralel ilerlediği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda 2008, 2012 ve 2014 yılları kuraklık açısından ülkemizde kritik öneme sahip dönemlerdir(Turkes, 2014). 1998 yılından sonra en sıcak yıl olarak bilinen 2008 ve 2014 döneminin ardından yeraltı kuyularının artan eğilimleri hızlanmıştır.

3.5. Kızılırmak Havzasında Kurak Dönemlerin Kuraklık İndisleri ile Belirlenmesi

Bu doğrultuda verilerin eğilimleri belirlendikten sonra kuraklığın boyutlarının ve etkilerinin izlenmesi yapılmıştır. Tez kapsamında meteorolojik parametrelerden sadece yağış kullanılarak SPI ile kuraklık analizi ve yağış ve buharlaşma kullanılarak RDI ile kuraklık analizi yapılmıştır. Hidrolojik parametrelerden akış ile SDI kuraklık analizi ve yeraltı suyu kullanılarak SGI kuraklık analizi yapılmıştır. İklim parametreleri ve hidrolojik parametreler kullanılarak kuraklığın farklı alanlarda ortaya çıkışı ve etkisi tespit edilmiştir. Yağış, buharlaşma, akış ve yeraltı suyu verilerini kapsayan her biri ayrı öneme sahip parametrelerin kuraklıkları ve bu kuraklıkların birbirleriyle ilişkilerinin varlığı ve boyutları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile iklim değişikliğinin meteorolojik kuraklıklarda ve hidrolojik kuraklıklarda ortaya çıkış zamanı, kuraklığın şiddet farklılıkları ve etkileşimi tespit edilmiştir. Analizlerde seçilen indislerin standartlaştırılmış olması, birbiriyle kıyaslamaya izin vermesi ve verilerinin teminin nispeten kolay olması bu indislerin tercih edilme sebepleridir.

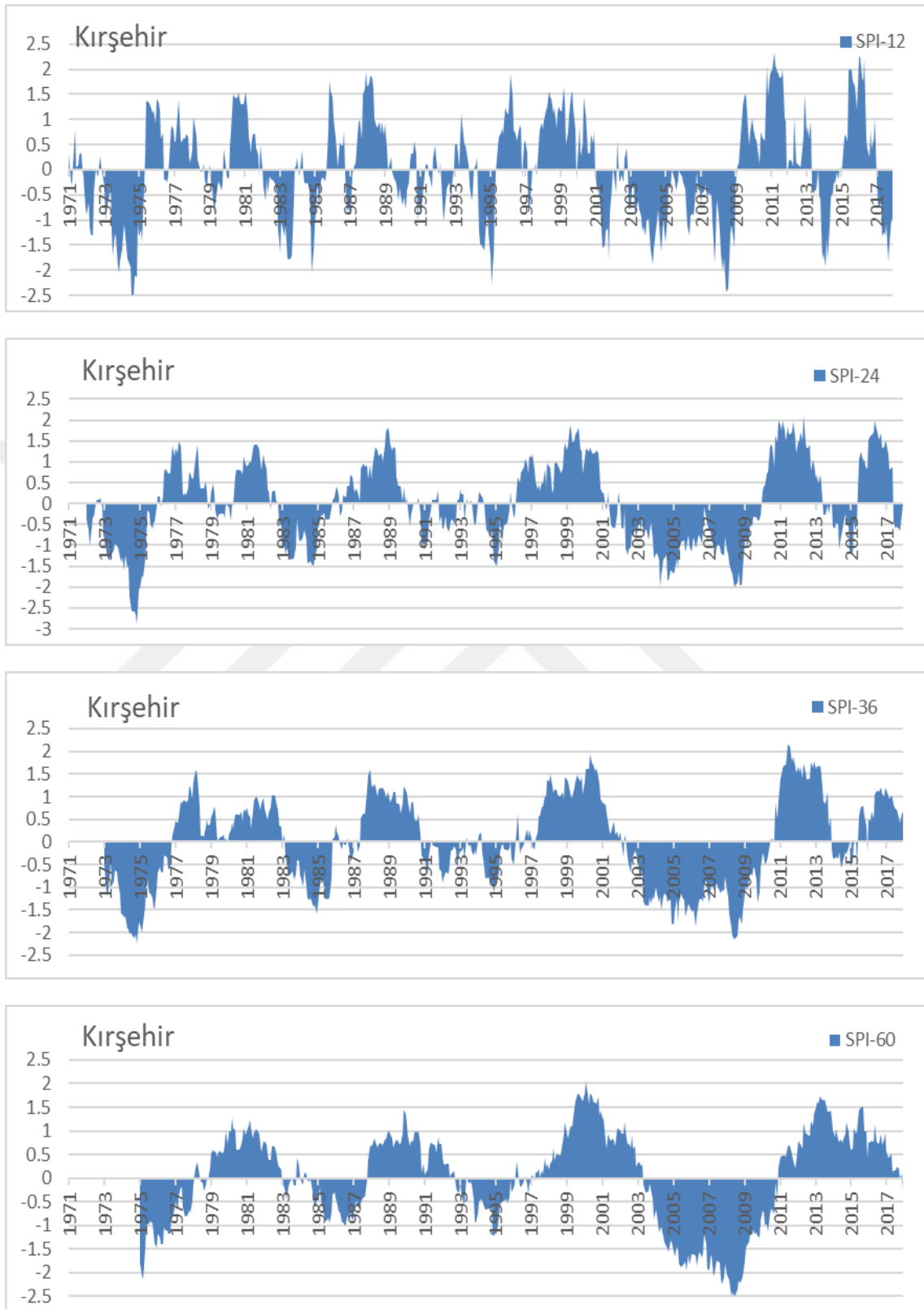
3.5.1. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) Kızılırmak Havzası Uygulamaları

Yapılan analizlerde 12 farklı periyotta sonuçlar elde edilmiş ve analizlerin farklı periyotlarda farklı kuraklıkları yansıttığı düşünülmüştür. Kısa dönem olarak ifade edilen 1-3-6 aylık sonuçlar yağış tahmini ile mevsimsel koşulları yansıtmaktadır. 9-12-24 aylık SPI sonuçları tarımsal kuraklıkların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Daha uzun dönemli analizler(36-48-60 aylık) hidrolojik kuraklığın izlenmesinde kullanılmaktadır.

Şekil 3.21’de Kırşehir istasyonunda SPI analizi ile elde edilen sonuçlar 12, 24, 36 ve 60 aylık periyotlarda grafikler halinde sunulmaktadır. 12 aylık kuraklığa bakıldığında istasyonda 1973-1975 döneminde orta kurak ile aşırı kurak arasında seyreden iki yıllık bir dönem gözlenmektedir. 1982-1985 döneminde gözlenen kurak yılların 1982 yılı sonunda orta şiddette kuraklığa ve sonrasında 1983 Mart ayında şiddetli kuraklığa kadar yükseldiği görülmüştür. 1994-Mayıs ile 1995-Mart periyotunda izlenen 10 aylık orta ve şiddetli kurak dönemi ve ardından 2001-2009 dönemi arasında birkaç aylık normal dönem ve ardından gelen orta, şiddetli ve aşırı kuraklıklar bulunmaktadır. 2009-2013 yılı arası dönem normal seyrederken, 2013-2015 dönemi ve 2017 yılı orta ve şiddetli kuraklıklar izlenmiştir.

24 aylık kuraklık analizinde 1972-Aralık ayından başlayan ve 1975-Haziran ayına kadar devam eden kuraklıklar SPI-12 ile kuraklığın süresi açısından benzerlik gösterse de şiddeti açısından SPI-24’te elde edilen sonuçlar kuraklığın daha şiddetli gerçekleştiğini göstermektedir. 1973’te başlayan ve 15 ay süren orta şiddette kurak dönemin ardından 1974 Haziran ayından itibaren aşırı kurak dönem başlamıştır. 1975 Mart ayına kadar süren aşırı kurak dönem 8 ay sürmüş ve 1974 Kasım ayında en şiddetli değerine(-2.9) ulaşmıştır. 1994-95 yılında hafif ve orta kuraklıklar etkilidir. 2001-2010 döneminde hafif ve orta şiddette kuraklıklar etkili olsa da 2004 ve 2008 yıllarında birkaç aylık periyotlarda şiddetli kuraklıklar da izlenmiştir. 2013-2015 periyodunda yoğunlukla hafif kuraklıklar ile 2017 yılında normale yakın hafif kurak bir yıl gözlenmiştir.

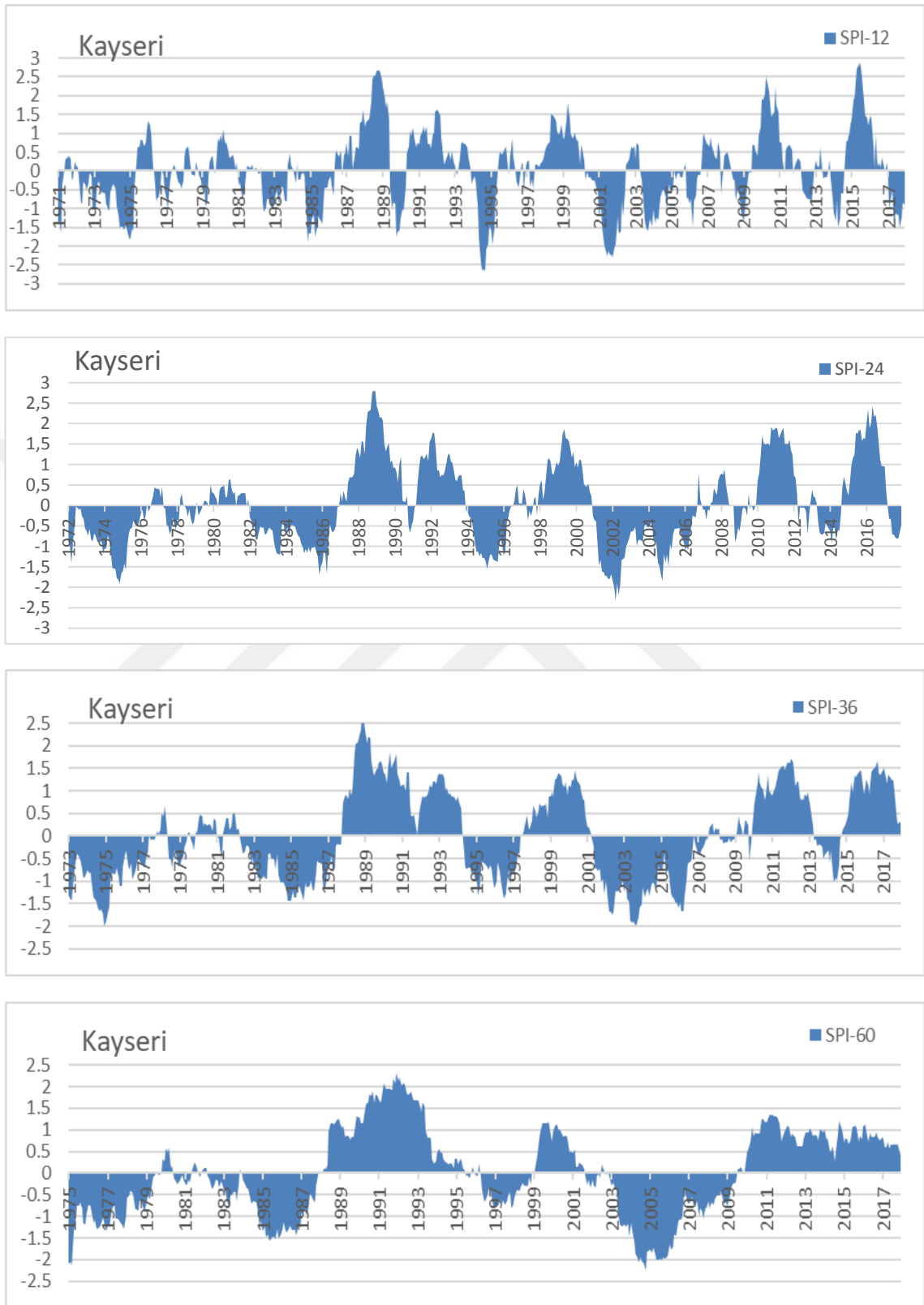
SPI-36 ve SPI-60 analizlerinde kuraklıklar benzerlikler taşısa da kuraklıklar açısından dönem farklılıkları gözlenmiştir. SPI-12 ve SPI-24 analiz sonuçlarında 2001-2009 döneminde gözlenen kuraklıklar SPI-36 ve SPI-60 analizlerinde iki yıl gecikmeli olarak 2003-2011 döneminde gözükmemektedir. Her üç dönemlik analiz de 1974-75 kuraklığının şiddetli olduğunu ve 2001-2011 dönemindeki kuraklığın yavaş yavaş birikerek 2008 yaz döneminde en yüksek şiddete ulaştığını göstermektedir.



Şekil 3.21. Kırşehir istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

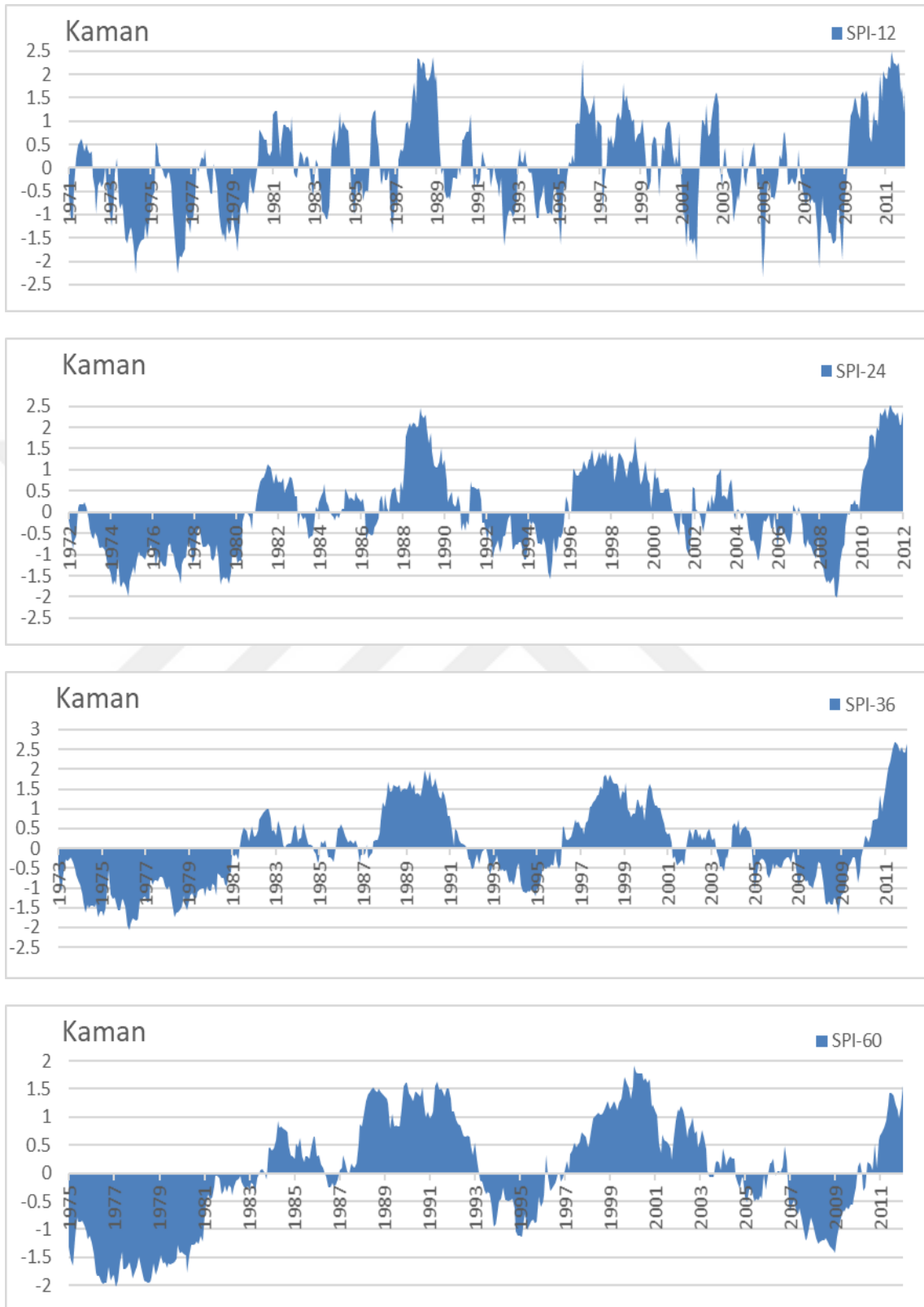
Şekil 3.22’de Kayseri istasyonunda SPI analizi ile elde edilen sonuçlar 12, 24, 36 ve 60 aylık periyotlarda grafikler halinde sunulmaktadır. Kayseri istasyonunda 1971’de orta şiddetli kuraklıkla başlayan SPI-12 grafiğinde 1973 yılı Ocak ayında hafif kuraklıkla başlayan dönem 1974-Haziran ayından itibaren şiddetli kuraklıkla devam etmekte ve şiddetli kurak dönemin bir yıl sürdüğü gözlenmektedir. Sonraki yıllarda 1982 dönemine kadar kuraklık gözlenmezken iklim normal seyrinde devam etmiştir. 1982-83 yıllarında hafif bir kuraklık dönemi gözlenmiştir. 1984-Ekim ile 1985-Ekim döneminde bir yıl hüküm süren bir şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. 1988 yılı ise oldukça sulak geçmiştir. 1989 yılında temmuz ayından 1990 yılının ilk üç aylık dönemine kadar orta şiddetli kuraklık gözlenmiştir. 1994 kuraklığı Nisan ayından itibaren artarak Haziran-Kasım aralığı aşırı kurak dönem, Aralık-Nisan arası şiddetli kurak dönem olarak kaydedilmiştir. Ardından 2001 yılı hafif kurak olarak başlamış ve Mayıs-Aralık dönemi aşırı kuraklıklara ulaşmıştır. 2002 yılı normal değerler gözlenirse de 2003 Temmuz ayı ile orta şiddette kuraklıklarla karşılaşmış, Eylül ayında aşırı kuraklık gözlenirse de 2004 temmuz ayına kadar orta şiddetli kuraklıklar devam etmişlerdir. 2007 ve 2009 da birkaç aylık orta şiddetli kuraklık gözlemi olup, 2014 yılına kadar iklim genellikle normal seviyelerde devam etmiştir. 2014 yılında kısa süreli orta şiddetli kuraklık ve 2017 de 5 aylık orta ve şiddetli kuraklıklar tespit edilmiştir.

SPI-36 ve SPI-60 sonuçlarına göre 1975 yılında gözlenen aşırı kuraklık ve 1985-1987 periyodunda gözlenen şiddetli kuraklıkların benzer şekilde hareket ettiği görülmektedir. SPI-36 ve SPI-60 1988-1994 dönemini sulak dönem olarak tespit etmiştir. SPI-36 sonuçlarına göre 1995-1997 aralığında orta şiddetli kuraklık gözlenirken, SPI-60’a göre 1996-1999 döneminde hafif şiddetli kuraklık gözlenmiştir. 2001-2009 döneminde SPI-36 2001 yılında, SPI-60 2003 yılında kuraklık başlangıcını tespit etmiş, farklı aralıklarda farklı şiddetler göstermiştir. Ancak, 2001-2009 döneminin aralıklarla kuraklığın şiddetlendiği ve aşırı kuraklıkların gözlendiği bir dönem olarak tespit etmişlerdir. SPI-36 2013-2015 döneminde kısa süreli orta şiddetli kuraklık gözlenirken, SPI-60’a göre 2010-2017 dönemi arasında kurak dönem yoktur.



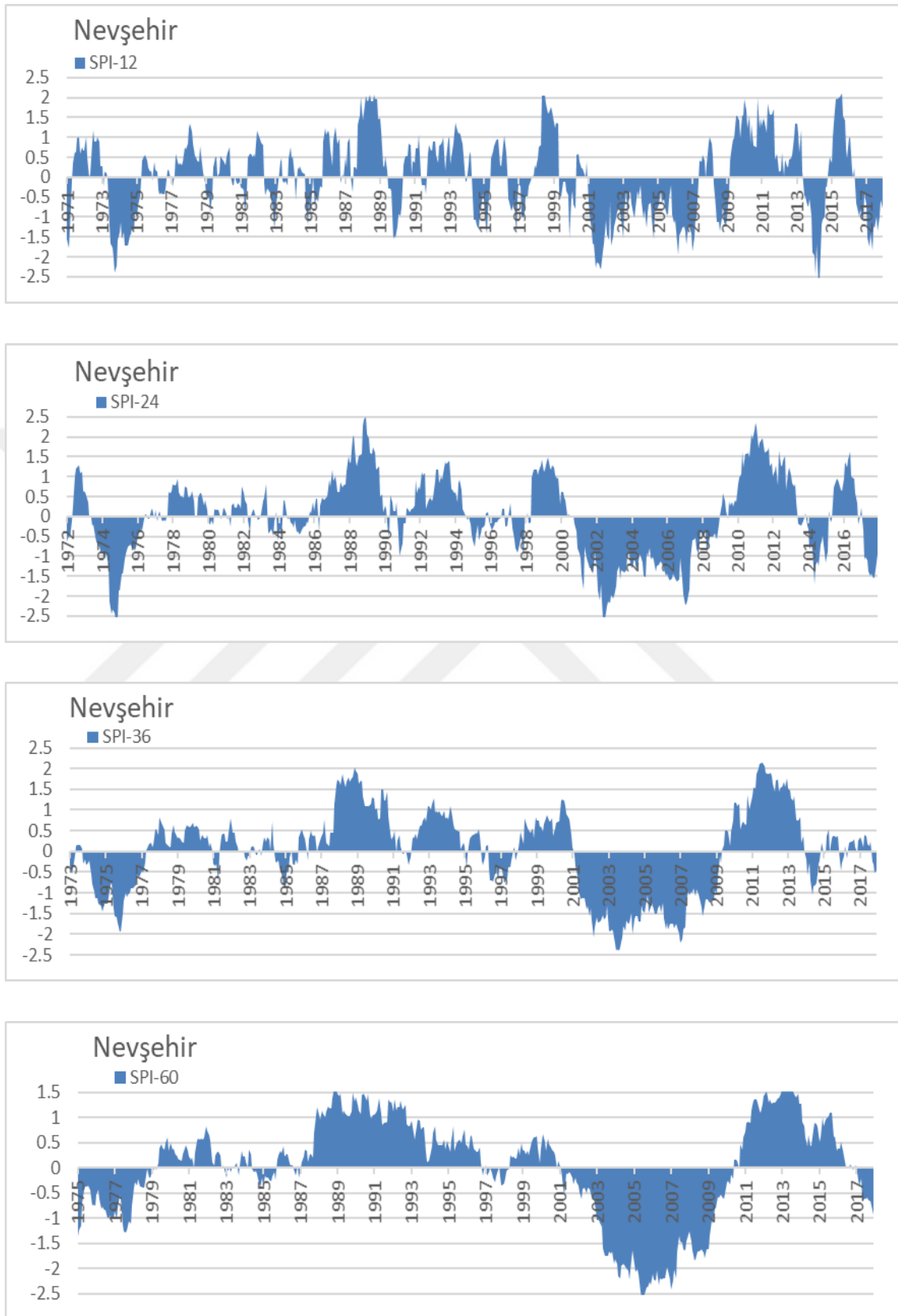
Şekil 3.22. Kayseri istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Şekil 3.23'te verilen Kaman istasyonuna ait SPI analizi sonuçlarında 12 aylık analiz sonuçlarının 1973-1977 yılları arasında 20 aylık bir kurak dönem bulunmaktadır. 1973 yılında hafif başlayan kuraklık artarak 1974 yılı yaz aylarında aşırı kurak(-2.26) aşamasına ulaşmıştır. 1975 yılı boyunca kuraklık izlenmezken, 1976 yılında 6 aylık dönemde şiddetli ve aşırı kuraklık izlenmiştir. SPI-12'de 1973-1980 arası yıllarda zaman zaman sulak bölgeye geçiş gözlenirse de uzun dönemli SPI analizlerinde yani SPI-24, SPI-36 ve SPI-60'ta elde edilen sonuçlara bakarak bu dönem kuraklığının aralıksız devam ettiğini görebiliriz. Hatta 1973-1980 dönemi yerine 1973-1982 döneminde yaşanan orta şiddette ve kuraklıkları görmek mümkündür. SPI-36'ya göre 1974 'den itibaren 38 ay boyunca orta şiddetli ve aşırı kuraklığın gözleendiği dönemde 14 ay şiddetli kuraklık birkaç aylık dönemde aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. 1976 Mart-Mayıs dönemi aşırı kurak olarak elde edilmiştir. Uzun dönemli SPI analizlerinin hidrolojik kuraklığın tespitinde kullanılması açısından daha tutarlı olduğunu düşünerek Kaman istasyonunda SPI-36 ve SPI-60 analizlerine göre akışlarda, göllerde ve yeraltı suyunda 1973-1982 arası dönemin orta ve şiddetli kurak geçtiği gözlenmektedir. Meteorolojik kuraklık açısından şiddeti orta ve şiddetli kurak olan 1973-1980 döneminde daha kısa süreli şiddetli kuraklıklar izlenmektedir. SPI-24, SPI-36 ve SPI-60'ta 1982 yılından 1992 yılına dek Kaman istasyonunda kuraklık tespit edilmezken, SPI-12'de 1983, 1985 ve 1987 yıllarında birkaç ay süren orta şiddete varan kuraklıklar gözlenmiştir. SPI-12 analizinde 1992'den itibaren birkaç ay süre hafif kuraklık, SPI-36'da 1992-1997 yılları arasında 1994 yılından başlayarak 10 ay süren bir orta şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. 2001 yılından itibaren SPI-12'de izlenen 9 aylık orta şiddete ulaşan kuraklık, uzun dönemli analizlerde kuraklık olarak izlenmemektedir. 2004-2005 döneminde SPI-12'de gözlenen kuraklık başlangıcı SPI-36 ve SPI-60'ta 2007'den itibaren artarak devam eden bir kuraklığa dönüşmüştür. 23 ay süren hafif ve orta şiddette kuraklığın diğer analizlerle paralel ilerlediği görülmektedir.



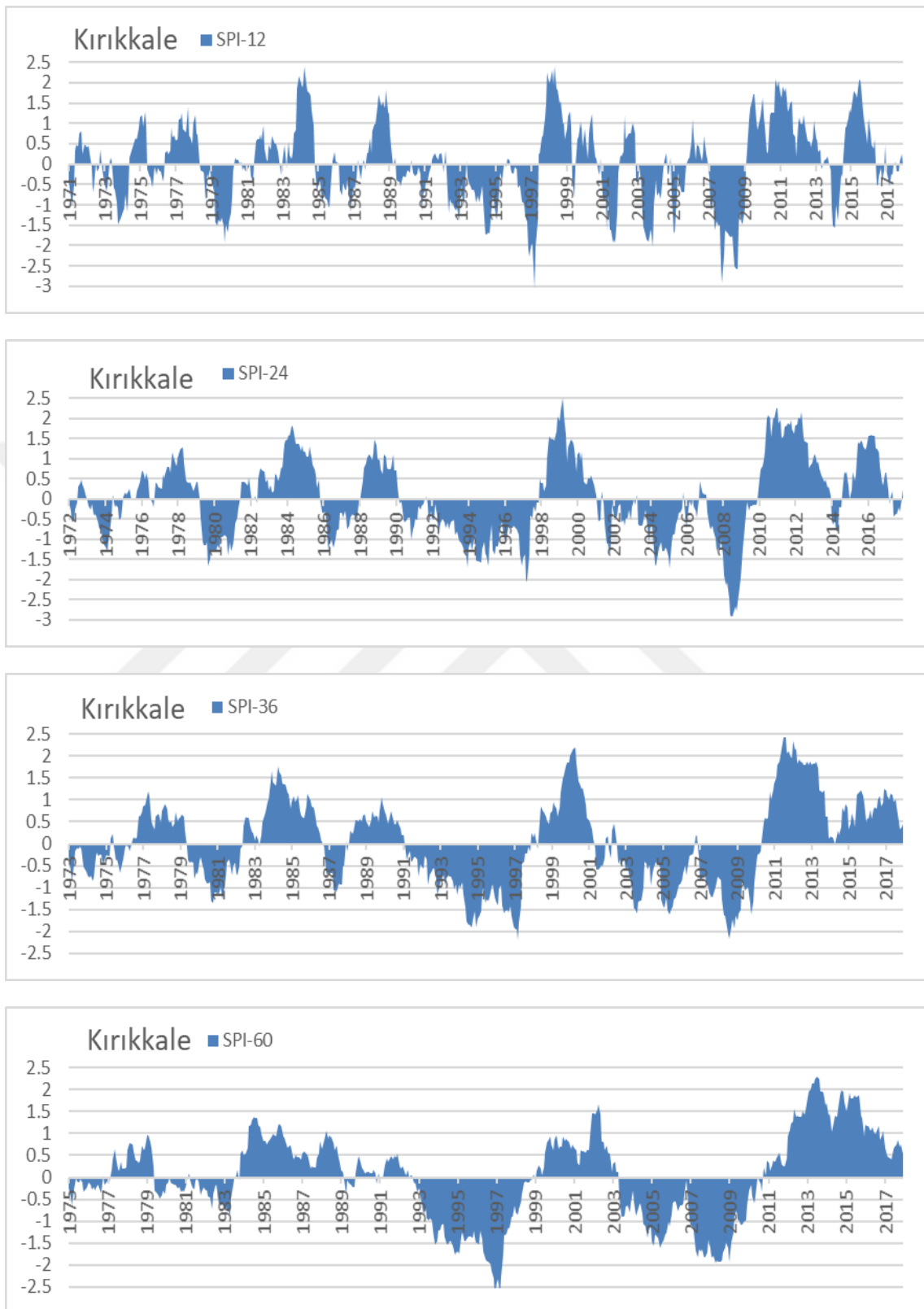
Şekil 3.23. Kaman istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Kızılırmak havzasına ait istasyonlardan Nevşehir istasyonunda yapılan SPI analizleri sonuçları Şekil 3.24'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan Nevşehir istasyonunda SPI-12'ye göre 1973-1975 yılları arasında 18 ay süren ve aşırı kuraklık aşamasına kadar ulaşan kuraklıklar görülmüştür. Aynı dönemlerde SPI-24'e göre kuraklık zamanının 1974-1976 aralığına kaydığını ve şiddetinin arttığını görebilmekteyiz. SPI-36 ve SPI-60'a sonuçlarına göre kuraklık şiddeti orta şiddette kaydedilse de 1974-1978 aralığına kaydığını görebilmekteyiz. 1973-1978 aralığında gözlenen en şiddetli kuraklık(-2.59) ise SPI-24'e göre 1974-Kasım ayında gerçekleşmektedir. Sonraki yıllarda Nevşehir istasyonunda SPI-12'de 1990'lı yıllarda izlenen kısa süreli hafif-orta şiddetli kuraklığın dışında 2000'li yıllara kadar kurak bir dönem gözlenmemiştir. 2001 yılına kadar uzun dönemli SPI analizlerinde istasyon sonuçları kurak olmaktan ziyade nemli olarak elde edilmiştir. 2001 yılından itibaren kuraklığın bütün analiz sonuçlarında hafif-orta ve aşırı kuraklığa varan şiddete ulaştığını özellikle SPI-60 analizlerinde şiddetinin arttığını görebilmekteyiz. 2001-2009 yılları kuraklığın tırmanışa geçtiğini ve SPI-60'a göre 6 yıldan fazla(76 ay) süre boyunca orta şiddetin üzerinde etkidiğini görebilmekteyiz. Ayrıca bu 76 aylık dönemin 28 aylık bölümü aşırı kurak olarak geçmiştir. Özellikle 2005-2007'de hidrolojik kuraklık olarak yorumladığımız SPI-60 da kuraklığın en şiddetli dönemden geçtiğini görmekteyiz. 2001-2009 döneminde gerçekleşen kuraklık 1998, 2001, 2003 ve 2008'de ülkemizde gözlenmiş etkili kurak yılların bir yansıması olarak gözlenmektedir. Bu kadar uzun süreli bir kuraklığın önce tarımsal sonra da hidrolojik unsurlara etkisi dikkatle izlenmelidir. Kuraklığın SPI-12 de yağışların azalmasıyla başladığı ve 2003 yılında SPI-24 de tarımsal açıdan yetersizliği ve bunların sonucunda yüzeysel ve yeraltı sularında azalmaların artışı olarak SPI-36 ve SPI-60 da şiddetlerin arttığı görülmektedir. 2010 yılından itibaren kuraklığın normale döndüğünü ve sulak bir dönemle devam ettiği gözlenmiştir. 2013-2015 aralığında ve 2016 yılı sonlarında SPI-12'de gözlenen kısa süreli aşırı kuraklık olayı diğer analizlerde gözlenmemiştir. Bunun sebebi o dönem yağışlarının azalması ve meteorolojik kuraklığın ortaya çıkması olabilir.



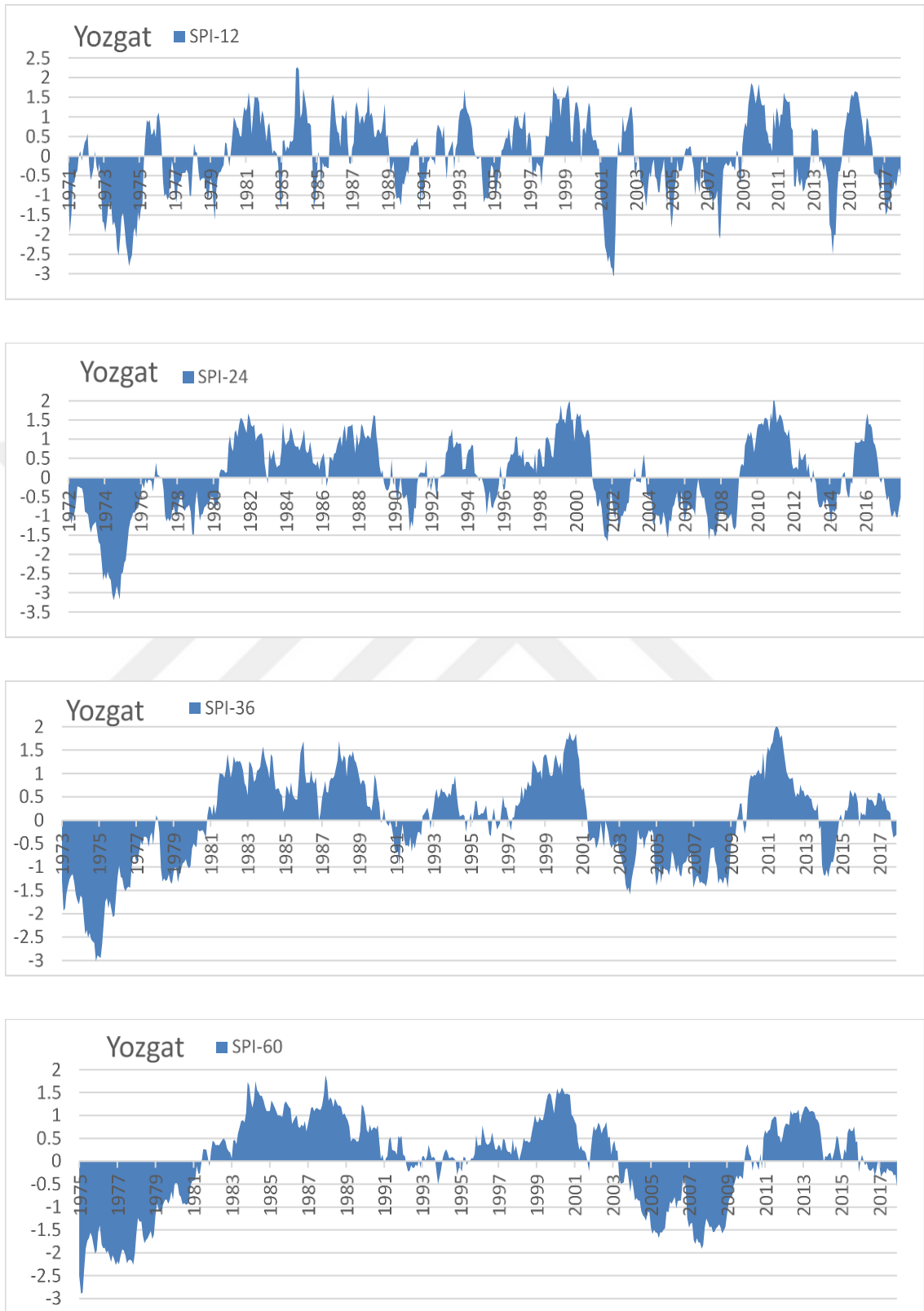
Şekil 3.24. Nevşehir istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

SPI analizlerinde Kırıkkale istasyonu için elde edilen sonuçlar Şekil 3.25'te verilmiştir. SPI-12 ve SPI-24 analizlerine göre 1974 ve 1980 dönemlerinde birkaç ay süren orta şiddete varan kuraklıklar gözlenmiştir. SPI-36'da sadece 1980 döneminde kuraklığı daha az şiddette ve 1981-1982 yıllarına kayarken, SPI-60'ta 1993 yılına kadar herhangi bir kurak dönem izlenmemiştir. SPI-60 hariç diğer analizlerde 1985-1987 dönemlerinde hafif ve kısa süreli kuraklık bulunmaktadır. 1993'ten itibaren SPI-12'de sürekli gözlenmeyen kuraklıklar, uzun dönemli analizlerde aralıksız devam eden kuraklık olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle SPI-36 ve SPI-60'ta uzun süren orta şiddette ve kısa süreli aşırı şiddetli kuraklıklar görülmektedir. SPI-60 sonuçlarından görülebileceği üzere 50 aylık bir süre boyunca gözlenen kuraklık 8 ay sürmekte ve 1996-Aralık ayında en yüksek şiddete(-2.66) ulaşmıştır. 2001'de başlayan kurak dönem SPI-12'de 2009 yılına kadar aralıklarla normal ve nemli koşullara dönse de uzun dönemli analizlerde sürekli bir şekilde devam eden kuraklık olarak gözlenmiştir. SPI-24 için süreklilik hafif kuraklıklarda geçerli iken, SPI-36 ve SPI-60'ta süreklilik orta ve şiddetli kuraklıklarda kaydedilmiştir. 2001-2010 döneminde gözlenen kuraklıklar 2004 yılından itibaren şiddetlenirken kuraklık 72 ay boyunca devam etmiş ve en şiddetli dönemini 2007-2008 yıllarında göstermiştir. Bu dönemde 23 ay süren şiddetli kuraklık izlenmiştir. 2010 yılından sonra sadece SPI-12'de 2014 yılında birkaç aylık hafif ve orta şiddetli kuraklık gözlenmiş ancak diğer analizlerde belirgin bir kuraklığa rastlanmamıştır.



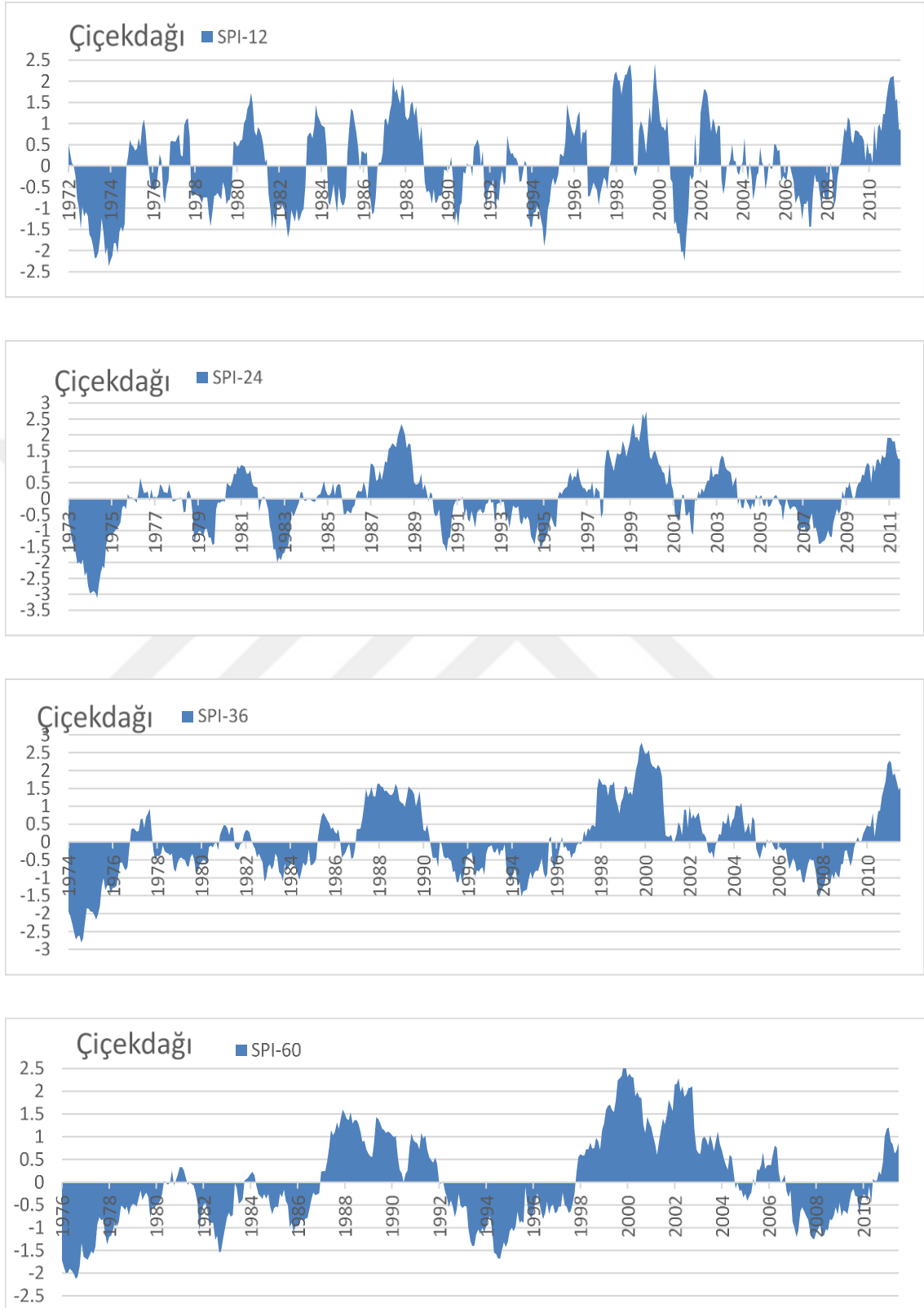
Şekil 3.25. Kırıkkale istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Yozgat istasyonuna ait SPI analiz sonuçlar Şekil 3.26'da gösterilmiştir. SPI-12 ve SPI-24 analizlerine göre 1973-1975 döneminde yoğunlukla orta şiddette gözlenen kuraklık 28 ay boyunca devam etmiş ve aralıklı olarak 12 ay boyunca aşırı kuraklıklar gözlenmiştir. Aşırı kurak dönem 1974 yılı bahar-yaz dönemi boyunca etkili olmuştur. 1974-haziran ayında(-2.81) en şiddetli boyuta ulaşmıştır. 1980-2000 döneminde hafif ve kısa süreli kuraklıklar gözlenmiş ve kuraklık birkaç aydan fazla sürmemiştir. SPI-36 ve SPI-60 analizlerine bakıldığında 1973-1980 döneminde daha uzun ve daha şiddetli kuraklıkların olduğu görülmüştür. 1973-1980 döneminde gözlenen kuraklığın 22 ay boyunca aşırı kuraklık olarak etkidiği ve istasyonun 1975-1979 yılları arasında 50 ay boyunca orta ve şiddetli kuraklıklar etkisinde kaldığı gözlenmiştir. SPI-60'ta 1975-1979 dönemini kapsayan en şiddetli kuraklık(-2.89) 1975-Şubat ayında tespit edilmiştir. 2000 yılına kadar geçen zaman boyunca uzun dönemli analizlerde birkaç aylık hafif kuraklık dışında kuraklık gözlenmemiştir. Ancak 2000-2008 döneminde SPI-12'de 2001 yılında kurak bir yıl gözlenmiş ve kuraklığın şiddeti 2001-Ekim ayında en yüksek seviyeye(-3.14) ulaşmıştır. Bir yıllık kurak dönemin 8 ayında aşırı kuraklık hâkim olmuştur. SPI-12'de gözlenen bu aşırı kurak yıl SPI-36 ve SPI-60'ta 2003-2004 yıllarında orta ve şiddetli kuraklık seviyesinde meydana gelmiştir. SPI-12'de aralıklarla gözlenen kuraklık SPI-60'ta sürekli ve orta ve şiddetli kuraklık olarak görülmektedir. SPI-60'a göre 2006-Kasım ayından itibaren 3 yıl boyunca sürekli orta şiddetli kuraklık gözlenmiştir. Bu uzun süren bir kuraklık etkisi oluşturmaktadır.



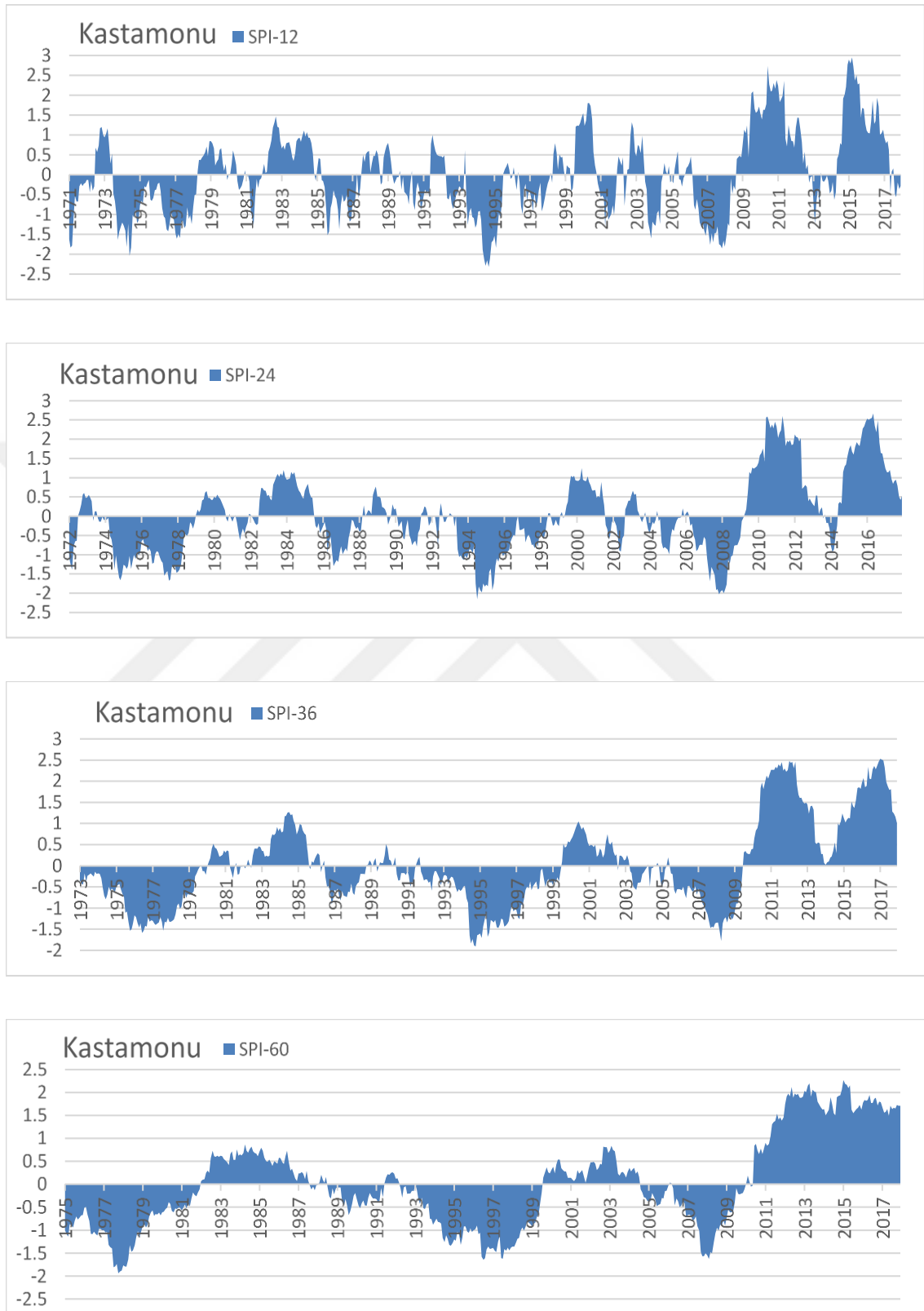
Şekil 3.26. Yozgat istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Çiçekdağı istasyonunda yapılan SPI analizinde elde edilen sonuçlar Şekil 3.27’de verilmiştir. SPI-12’de 1973 yılından itibaren orta şiddette başlayan kuraklık 1975’e kadar sürmüş ve 8 aylık aşırı kuraklığın kalan sürede orta ve yoğunlukla şiddetli kuraklığın hâkim olduğu bir dönem olmuştur. 1973-1975 dönemi SPI-24 analizinde yine şiddetli ve aşırı kurak olarak izlenirken, kuraklık şiddetinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 1974-Kasım ayında kuraklık şiddeti en yüksek değerini alarak -3.12 ‘ye ulaşmıştır. SPI-36 ve SPI-60 analizleri de benzer sonuçlar göstermiş ancak SPI-60 analizinde kuraklık 1980’e kadar devam etmiştir. SPI-12’de 1982-1983, 1993-1994 ve 2006-2008 dönemleri ile 2001 yılında kısa süreli ve orta şiddete varan kuraklıklar tespit edilmiştir. SPI-24’te 1983 yılında aşırı kuraklığa varan ve 12 ay süren kuraklıklar ile 1990-1995 aralığında yoğunlukla hafif kuraklıklarla birlikte kısa süreli orta şiddette kuraklıklar gözlenmiştir. 2006’ya kadar kuraklığın gözlenmediği SPI-24 analizinde 2006-2009 döneminde hafif ve orta şiddetli kuraklıklar tespit edilmiştir. SPI-60 analizinde gözlenen kuraklıklar 1976-1980, 1982-1986, 1993-1996 ve 2007-2010 dönemlerinde gerçekleşmiştir. Bu dönemlerden en şiddetli kuraklığın gözlendiği yıl 1974 yılı olmuştur. Diğer dönemlerde kuraklıklar yoğunlukla hafif ve kısa süreli orta kuraklık olarak izlenmiştir. Bu dönemlerde kaydedilen en kurak yıllar 1995(-1.69) ve 2008(-1.23)’dir.



Şekil 3.27. Çiçekdağı istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Kastamonu istasyonunda yapılan SPI analizinde elde edilen sonuçlar Şekil 3.28’de verilmiştir. SPI-12 aylık sonuçlarına göre 1973-1977 döneminde kısa süreli ve yoğunlukla hafif şiddetli kuraklık gözleendiğini ancak 1974 ve 1977 yıllarında kısa süreli orta ve şiddetli kuraklığın etkili olduğunu göstermektedir. 1993-1995 aralığında yoğunlukla hafif ve orta şiddetli kuraklık olmak üzere 1994 yılında aşırı kuraklığa varan kısa süreli şiddetli kuraklık etkimıştır. 1997 ve 2001 yıllarında kısa süreli hafif kuraklıklar etkin olurken 2004 yılında orta şiddetli kuraklığa kadar ulaşmıştır. 2006-2008 yılları arasında yoğunlukla hafif ve orta şiddetli, 2008 yılında kısa süreli ve şiddetli kuraklık etkili olmuştur. SPI-24’te 1974-1978 arası yoğunlukla hafif ve kısa süreli orta şiddetli kuraklık, 1986-1988 döneminde hafif ve kısa süreli kuraklık gözlenmiştir. 1994-1997 döneminde 1994 yılından itibaren hafif kuraklığın hâkim olduğu ancak orta ve şiddetli kuraklıkların 6-8 aylık periyotlarla kendini gösterdiği bir kuraklık etkisi görülmüştür. 39 ay boyunca aralıksız süren kuraklık toplam 50 ay süre ile etkili olmuş ve 1994-Temmuz ayında -2.14 ile aşırı kurak değere ulaşmıştır. 2006-2008 döneminde hafif gözlenen ve sonrasında artan kuraklık 31 ay sürmüş ve 2007-Kasım ayında aşırı kuraklık seviyesine ulaşmıştır. SPI-60 analizinde 1975-1980 döneminde 64 ay boyunca kurak bir devre geçirmiştir. 1976-Mayıs ayından 1979-Ocak ayına kadar 32 ay boyunca orta ve şiddetli kuraklığın gözleendiği ve 1977-Ekim ayında aşırı kuraklığa kadar ulaştığı görülmüştür.



Şekil 3.28. Kastamonu istasyonuna ait 12, 24, 36 ve 60 aylık SPI analizi sonuçları

Diğer analizlerde olduğu gibi 1994-1998 dönemi oldukça etkili ve şiddetli bir kuraklık etkisinde kalan Kastamonu istasyonunda 1996-1998 yılları boyunca kesintisiz kurak bir devre gözlenmiştir. 2007-2010 yılları arasında hızla yükselen bir kuraklık gözlenmiş ve bu dönemde kısa süreli, yoğunlukla hafif ve orta şiddetli kuraklık hâkim olmuştur.

Çankırı istasyonunda 1973-75 dönemi yoğunluklu orta ve şiddetli kuraklığa maruz kalmıştır. 1975 yılında kuraklık aşırı değerlere yaklaşmıştır. Sonraki dönem kuraklığı 1977-80 yıllarında orta ve kısa süreli şiddetli kurak olarak gözlenmiştir. 1986-88 ve 1993-95 yılları da yoğunlukla orta kurak ve kısa süreli şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir. 2003-2005 ve 2007-2009 dönemi de aşırı şiddete ulaşan kuraklıkların görüldükleri periyotlardır. Son gözlene kurak yıl orta şiddetli kuraklığın hâkim olduğu 2014 yılıdır.

Develi istasyonunda 1972-1975 döneminde yoğunluklu olarak hafif şiddetli olan kuraklıklar 1974 yılından itibaren artarak orta ve şiddetli ve 1975 yılında aşırı kuraklığa ulaşan bir seyir izlemiştir. 1985-1987 ve 1990-1992 dönemlerinde uzun süreli hafif ve orta şiddetli ve kısa süreli şiddetli ve aşırı kuraklıklar etkili olmuştur. 1986 ve 1991 yılı bahar aylarında kuraklıklar maksimum değerlerine ulaşmıştır. 1994-1996 yıllarında orta şiddetli kuraklıklar bir yıl kadar etkili olmuş ve sonraki dönemlerde 2002 ve 2007 yıllarında hafif kuraklıklar gözlenmiştir.

Ürgüp istasyonunda 1974-1976 döneminde uzun dönem orta şiddetli ve şiddetli kuraklıklar tespit edilmiştir. 1983-1986 ve 1994-1996 dönemi ile 1991 ve 2002 yılı kısa süreli hafif kuraklıklar gözlenmiştir. 2004-2008 döneminde gözlenen uzun dönemli kuraklığın 2004-2006 yıllarında sürekli etkidiği ve yoğunlukla orta şiddetli olduğu tespit edilmiştir. Aşırı şiddetli kuraklık 2005 bahar döneminde meydana gelmiştir. 2007-2009 dönemi ise hafif ve orta şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur.

Keskin ve Osmaniye istasyonlarında Çankırı istasyonuna benzer sonuçlar gözlenmiştir. 1986-88, 1993-95, 2003-2005 ve 2007-2009 yılları her üç istasyonda kurak olarak izlenmiştir.

Sivas istasyonunda 1974-75 yıllarında aşırı kurak 8 aylık bir dönem geçirmiş ve kuraklık şiddeti -3.5 olarak tespit edilmiştir. Sonraki dönem kuraklıkları 1979-80 hafif kurak, 1983-1986 arası orta ve şiddetli kurak, 1994-1996 ve 2001-2003 orta ve şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir. 2005-2007 döneminde tekrar aşırı kurak şiddete ulaşan

kuraklık değerleri 2008-2009 ve 2014-2015 yıllarında hafif ve kısa süreli orta şiddetli kurak olarak devam etmiştir.

Gemerek istasyonunda kurak dönemler 1975, 1979-1980 ve 1986-1987 dönemiyle hafif kuraklık olarak seyretmiştir. 1994-1996 dönemi kuraklığı 1995 yılında aşırı kuraklığa ulaşmış ve 2001-2003 döneminde bu kuraklık şiddetleri daha da artmıştır. 2001 yılında -2.52 değerine ulaşan kuraklık şiddeti 2004-2006 kuraklığında hafif-orta kuraklık şiddetinde devam etmiştir. 2008-2012 yılları arası oldukça sulak geçen bir dönemdir. Gemerek istasyonunda 2013-2015 döneminde orta-şiddetli uzun süreli kuraklıklar kaydedilmiştir.

Zara istasyonu özellikle 1974 yılında şiddetli ve aşırı kurak değerlerle izlenen ve 1978'e kadar süren bir periyot geçirmiştir. 1983-1987, 1991-1993, 1994-1995ve 2002-2006 dönemleri yoğunlukla hafif ve orta şiddetli kuraklıkların gözleendiği dönemlerdir.2007-2009 yılları arasında kısa süreli şiddetli ve aşırı kurak iklim durumu tespit edilmiştir.

Boğazlıyan istasyonunda 1973-1976 arası dönem 1974 yılında gözlenen aşırı kurak aylarla birlikte yoğunlukla hafif kuraklığın etkin olduğu bir periyot olmuştur. 1995 yılına kadar kısa süreli hafif kuraklıklar gözlenirse de 2001-2003 dönemine kadar kuraklık etkin olmamıştır. 2001-2003 döneminde aşırı kuraklığın hâkim olduğu bir yıldan fazla süren bir zaman aralığı vardır. Boğazlıyan istasyonunda tespit edilen en şiddetli kurak dönem 2002 yılında gerçekleşmiştir. 2003-2005 ve 2007-2009 dönemlerinde orta kurak dönemler gözlenmiştir.

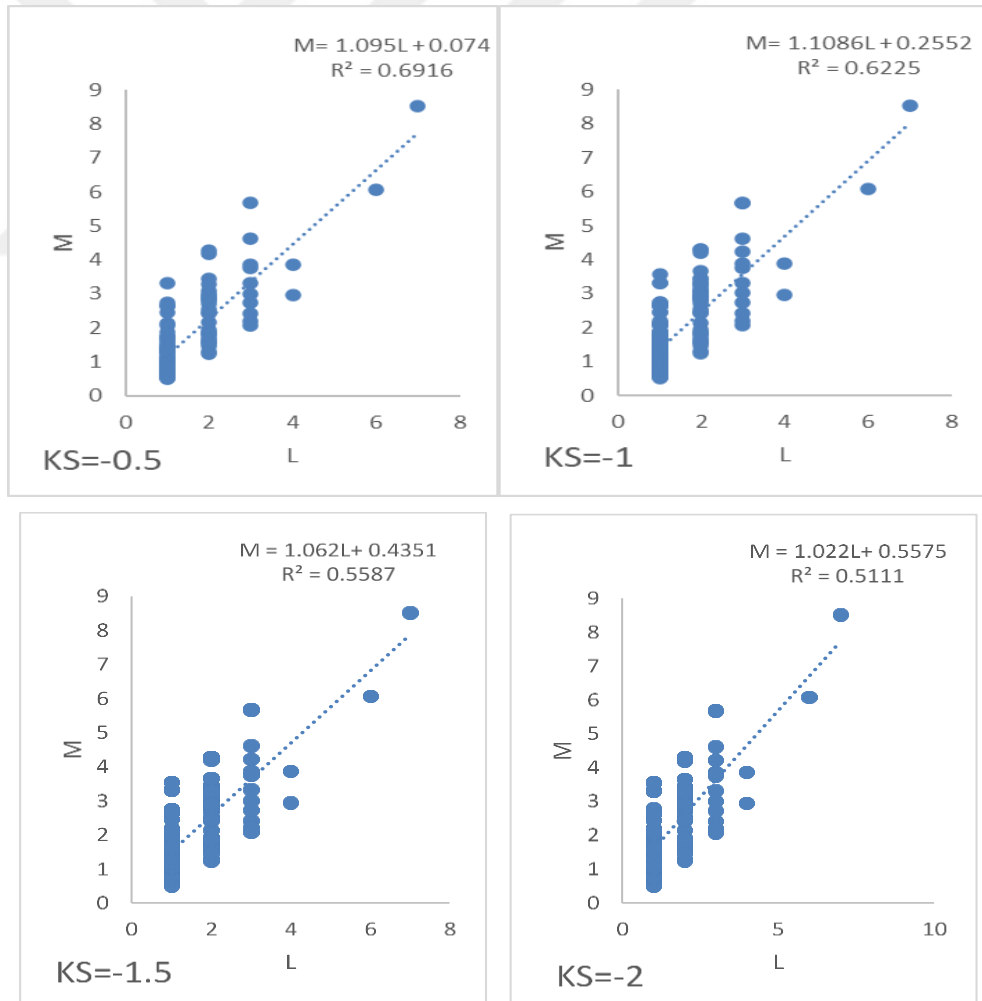
Tosya istasyonunda 1974-1978 dönemi hafif ve orta kurak olarak geçmiştir. Ardından gelen kuraklıklar 1986'da hafif, 1992-1996 arası hafif ve orta şiddetli, 2001'de hafif ve 2004-2008 döneminde 2006'dan itibaren hafif kuraklıkla başlayarak 2007-2008 boyunca tırmanışa geçerek aşırı şiddete ulaşan kuraklıklardır. 2008 yılı şubat ayı -2.38 değeri ile Tosya için maksimum değeri ifade etmektedir.

Bafra istasyonunda 90'lı yıllara kadar gözlenen kurak devreler 1973-1975,1982-1986 ve 1992-1998 dönemleridir. Uzun dönemli hafif kuraklıkların etkin olduğu bu dönemlerde aşırı şiddete yaklaşan kuraklıklar gözlenmiştir. Özellikle 1983, 1985 ve 1986 yıllarında orta şiddetli kuraklıkların hâkim olduğu birkaç aydan daha fazla dönemler tespit edilmiştir. 2001-2004 ve 2007-2009 dönemlerinde orta şiddetli kuraklıklar etkin olmuştur. 2014-2016 periyodunda hafif şiddete sahip kuraklıklar bulunmuştur.

İlgaz istasyonu 1981 ve 1986 yıllarında gözlenen kısa süreli hafif , 1993-1995 döneminde orta ve şiddetli kuraklıklar etkisinde kalmıştır. 2004-2009 döneminde yoğunlukla hafif ve orta şiddetli kuraklıklar gözlenmiştir. Özellikle 2008’de -2.73 değeriyle aşırı şiddete sahip kuraklık tespit edilmiştir. Bir yıl süren aşırı kurak dönem İlgaz istasyonunda en etkili kuraklık dönemini de oluşturmaktadır.

3.5.2. Standart Yağış İndisi için Gidişler analizi

Tez çalışmasında SPI ile yağış standartlaştırılmış ve elde edilen değerlerle SPI’nın kesim seviyelerine göre eksik yağışların olduğu ayların hesaplamaları Gidişler analizi ile yapılmıştır. Gidişler analizi tseti için Phytion programı kullanılmıştır. Yazılan kod ile hesaplamalar yapılmıştır. Seçilen istasyonlara ait eksik yağış toplamaları(kuraklığın genliği), gidiş uzunluğu(kurak süre) ve gidiş şiddeti(kuraklığın şiddeti) hesaplanmıştır.



KS: Kesim Seviyesi, L: Kurak geçen süre, M: Kuraklığın genliği

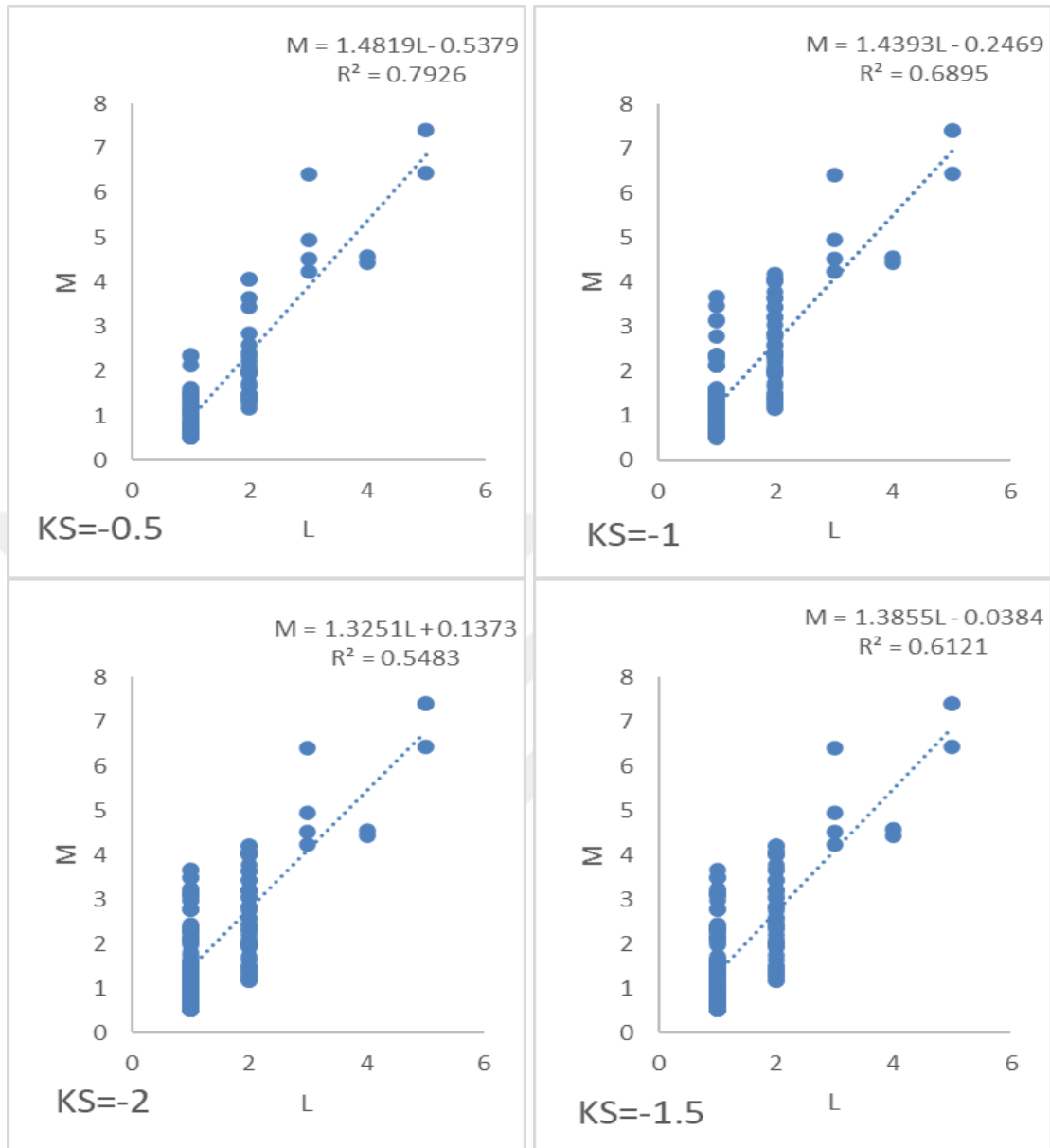
Şekil 3.29. Kırşehir istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri

Kırşehir istasyonu gidiş analizinde SPI için kullanılan kuraklığın şiddetini belirlediği kesim seviyeleri kullanılmıştır. Farklı kesim seviyelerinde elde edilen kuraklığın genliği(M) ile süresi(L) arasındaki korelasyonlar hesaplanmıştır. Kırşehir istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde oluşan eğilimler ve aralarındaki bağıntı Şekil 3.29’da verilmektedir. Elde edilen denklemlerle M ve L değerlerinden birine sahip olduğumuz durumda diğeri %50-70 oranında doğrulukla hesaplanabilir olduğu görülmektedir. Çalışmanın kuraklık analizi üzerine olması sebebiyle verilen grafikler kuraklık seviyelerine göre alınan kesim seviyelerinde oluşturulmuştur. Kırşehir istasyonu için -2 değerinde M ve L arasındaki ilişkinin diğer seviyelerden az olsa da güçlü olduğu görülmüştür. En kuvvetli ilişki ise -0.5 seviyesinde elde edilmiştir.

Tablo 3.19. Kırşehir için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler

Parametre	KS=-0.5			KS=-1			KS=-1.5		
	L	M	I	L	M	I	L	M	I
Maksimum	7.00	8.53	3.32	3.00	5.68	3.55	2.00	4.29	3.55
Minimum	1.00	0.51	0.51	1.00	1.01	1.01	1.00	1.53	1.53
Ortanca	1.00	1.35	0.98	1.00	1.55	1.44	1.00	2.00	1.96
Ortalama	1.54	1.76	1.15	1.23	1.96	1.59	1.06	2.16	2.04
St. Sapma	0.98	1.29	0.52	0.49	0.97	0.52	0.23	0.65	0.47
Çarpıklık	0.56	0.32	0.32	0.48	0.42	0.28	0.25	0.24	0.17

Kırşehir istasyonuna ait gidiş analizi sonuçlarının istatistiksel özellikleri Tablo 3.19’da verilmiştir. Kuraklık şiddetinin düşük olduğu -0.5 seviyesinde L kuraklık süresinin daha büyük olduğu gözlenmiştir. Maksimum eksikler toplamı hafif kuraklıkların etkin olduğu dönemlerde gerçekleşmiştir. Ancak kuraklık şiddetinin maksimuma ulaştığı şiddet seviyesi -1.5 olmuştur.



Şekil 3.30. Kayseri istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri

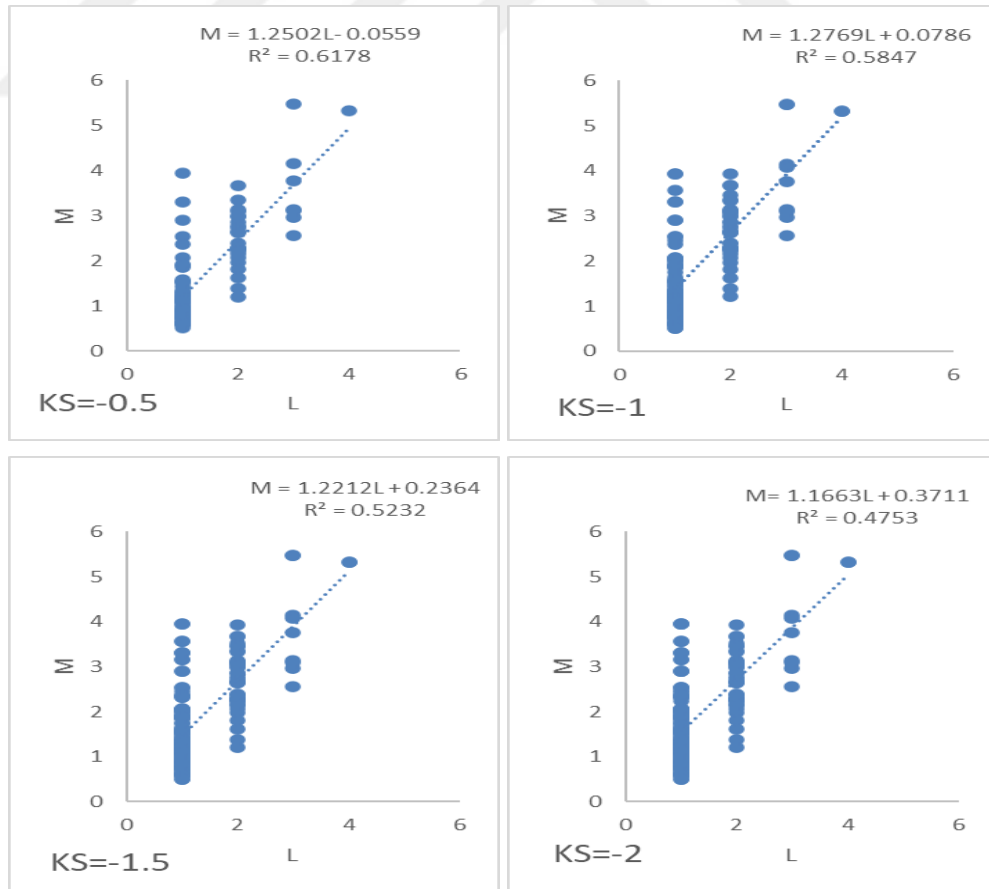
Kayseri istasyonu için farklı kesim seviyelerinde elde edilen kuraklığın genliği(M) ile süresi(L) arasındaki korelasyonlar ve aralarındaki bağıntı Şekil 3.30’da verilmektedir. Elde edilen denklemlerle M ile L değerleri arasında korelasyon -0.5 seviyesinde %80, -1.5 seviyesinde %61 civarındadır. Çalışmada kullanılan kesim seviyeleri kurak dönemlere aittir. Kısa süreli kuraklıkların daha yoğun olduğu ve uzun süreli kurakların daha az sayıda olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3.20. Kayseri için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler

Parametre	KS=-0.5			KS=-1			KS=-1.5		
	L	M	I	L	M	I	L	M	I
Maksimum	5.00	7.42	3.13	5.00	7.42	3.67	2.00	4.20	3.67
Minimum	1.00	0.52	0.52	1.00	1.02	1.02	1.00	1.52	1.52
Ortanca	1.00	1.18	0.99	1.00	1.50	1.46	1.00	2.32	2.14
Ortalama	1.45	1.65	1.08	1.25	2.07	1.66	1.11	2.51	2.31
St. Sapma	0.80	1.35	0.50	0.62	1.15	0.66	0.31	0.77	0.63
Çarpıklık	0.56	0.35	0.19	0.41	0.49	0.31	0.35	0.26	0.28

KS: Kesim Seviyesi, L: Kurak geçen süre, M: Kuraklığın genliği

Kayseri istasyonu için gidişler analizinden elde edilen sonuçların istatistiksel özellikleri Tablo 3.20’de verilmiştir. Kayseri istasyonunda maksimum kuraklık süresi 5 ay olurken, kuraklık şiddeti bakımından 3.67 yoğunluğunda kuraklık -1.5 seviyesinde görülmüştür. Maksimum eksiklik toplamı 7.42 ile hem -0.5 hem de -1 seviyesinde tespit edilmiştir.



KS: Kesim Seviyesi, L: Kurak geçen süre, M: Kuraklığın genliği

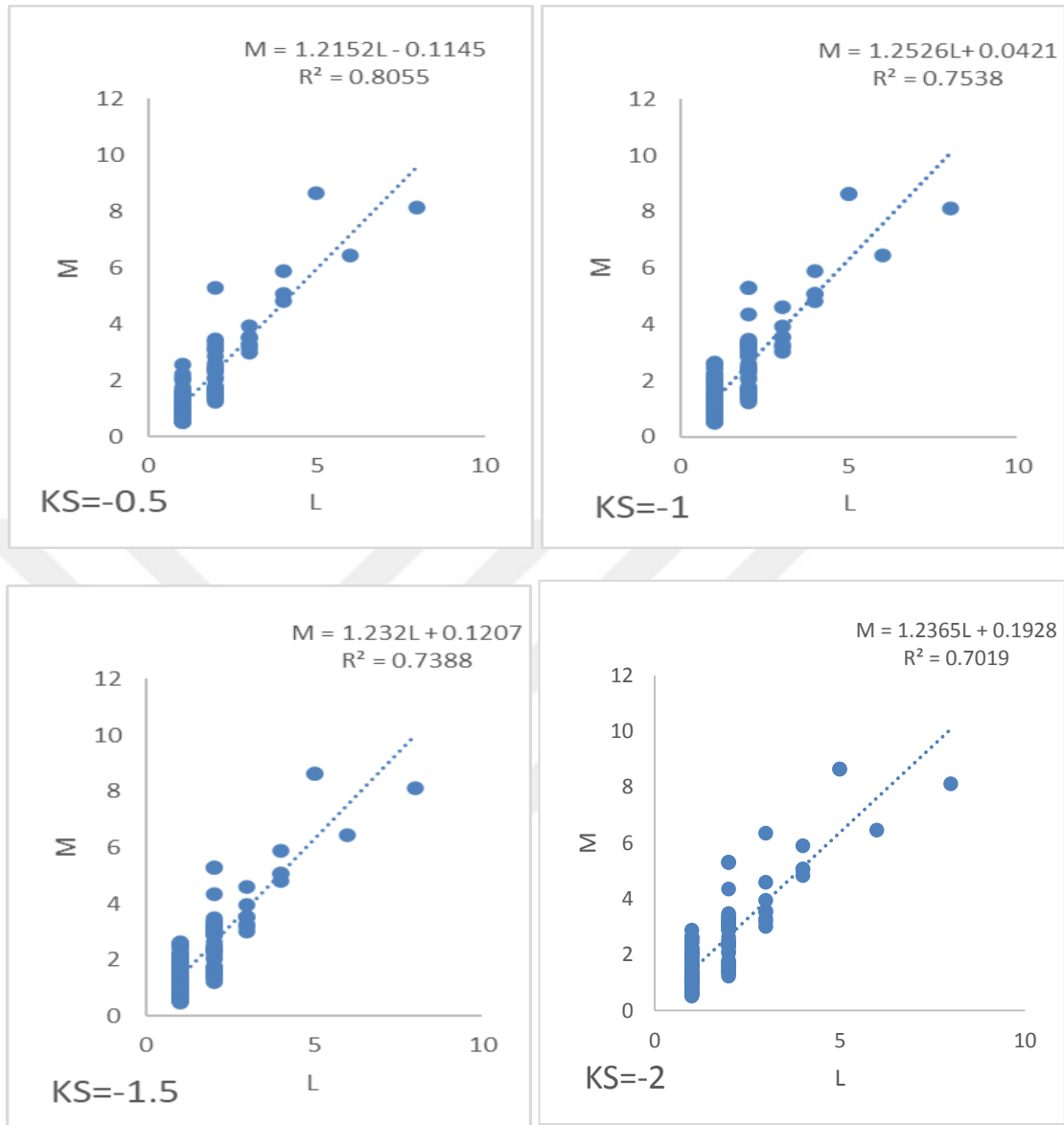
Şekil 3.31. Nevşehir istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri

Nevşehir istasyonunda gidişler analizi ile elde edilen M ve L değerlerinin kuraklığa ait kesim seviyelerinde aralarındaki korelasyon ve bağıntılar Şekil 3.31’de verilmiştir. En yüksek korelasyon -0.5 seviyesinde %61 civarında hesaplanmıştır. Kesim seviyesi azaldıkça M ve L değerleri arasındaki korelasyon genellikle azalmaya meyillidir.

Tablo 3.21. Nevşehir için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler

Parametre	KS=-0.5			KS=-1			KS=-1.5		
	L	M	I	L	M	I	L	M	I
Maksimum	4.00	5.47	3.94	4.00	5.32	3.94	2.00	3.94	3.94
Minimum	1.00	0.51	0.51	1.00	1.01	1.01	1.00	1.12	1.12
Ortanca	1.00	1.31	1.12	1.00	1.80	1.36	1.00	2.03	2.01
Ortalama	1.40	1.75	1.24	1.26	1.99	1.62	1.03	2.23	2.18
St. Sapma	0.65	1.09	0.59	0.53	0.89	0.62	0.16	0.68	0.66
Çarpıklık	0.61	0.40	0.20	0.50	0.21	0.41	0.16	0.29	0.27

Tablo 3.21’de verilen istatistik özelliklerden Nevşehir istasyonunda maksimum kurak süre 4 ay olarak belirlenmiştir. Eksikliklerin toplamlarına bakıldığında en büyük eksik değerin -0.5 seviyesinde olduğu ancak -1 seviyesi ile büyük farkı olmadığı gözlenmiştir. Ancak kuraklık yoğunlukları üç seviyede eşit olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.32. Kırıkkale istasyonuna ait farklı kesim seviyelerinde M ve L değerleri

Kırıkkale istasyonunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.32’de verilmiştir. Bu istasyonda korelasyonlar diğer istasyonlara göre daha yüksek bulunmuştur. -0.5 seviyesinde %80 civarında olan korelasyon, -2 seviyesinde %70 civarındadır. Ayrıca kurak sürelerin biraz daha arttığını görebiliyoruz. İstatistiksel özellikler Tablo 3.22’de sunulmuştur. 8 aylık kurak süre maksimum değerlerde elde edilirken, toplam eksiklik 8.65 ile hem -0.5 hem de -1 seviyesinde görülmektedir. Kuraklık yoğunluğu açısından -1.5 seviyesi diğerlerinden daha etkili kuraklığı göstermektedir.

Tablo 3.22. Kırıkkale için (-0.5,-1, -1.5) kesim seviyelerinde M, L ve I değerlerine ait istatistiksel özellikler

Parametre	KS=-0.5			KS=-1			KS=-1.5		
	L	M	I	L	M	I	L	M	I
Maksimum	8.00	8.65	2.65	5.00	8.65	2.65	3.00	6.35	2.88
Minimum	1.00	0.51	0.51	1.00	1.02	1.02	1.00	1.59	1.58
Ortanca	1.00	1.39	1.09	1.00	1.59	1.44	1.00	1.99	1.95
Ortalama	1.59	1.86	1.16	1.28	1.97	1.53	1.12	2.21	1.97
St. Sapma	1.09	1.48	0.46	0.70	1.24	0.43	0.39	0.91	0.35
Çarpıklık	0.54	0.32	0.14	0.40	0.31	0.22	0.30	0.24	0.06

Tablo 3.23'te sunulduğu gibi gidiş analizlerinde elde edilen sonuçlardan uygulamaya dahil edilen istasyonların çoğunda %50-%70 seviyesinde korelasyon gözlenmiştir. Bu durum kuraklık genliği ile kuraklık süresi arasında bir ilişkinin varlığını göstermektedir. En düşük korelasyon Bafra istasyonunda %35 ile -2 kuraklık seviyelerinde elde edilen korelasyon olmuştur.

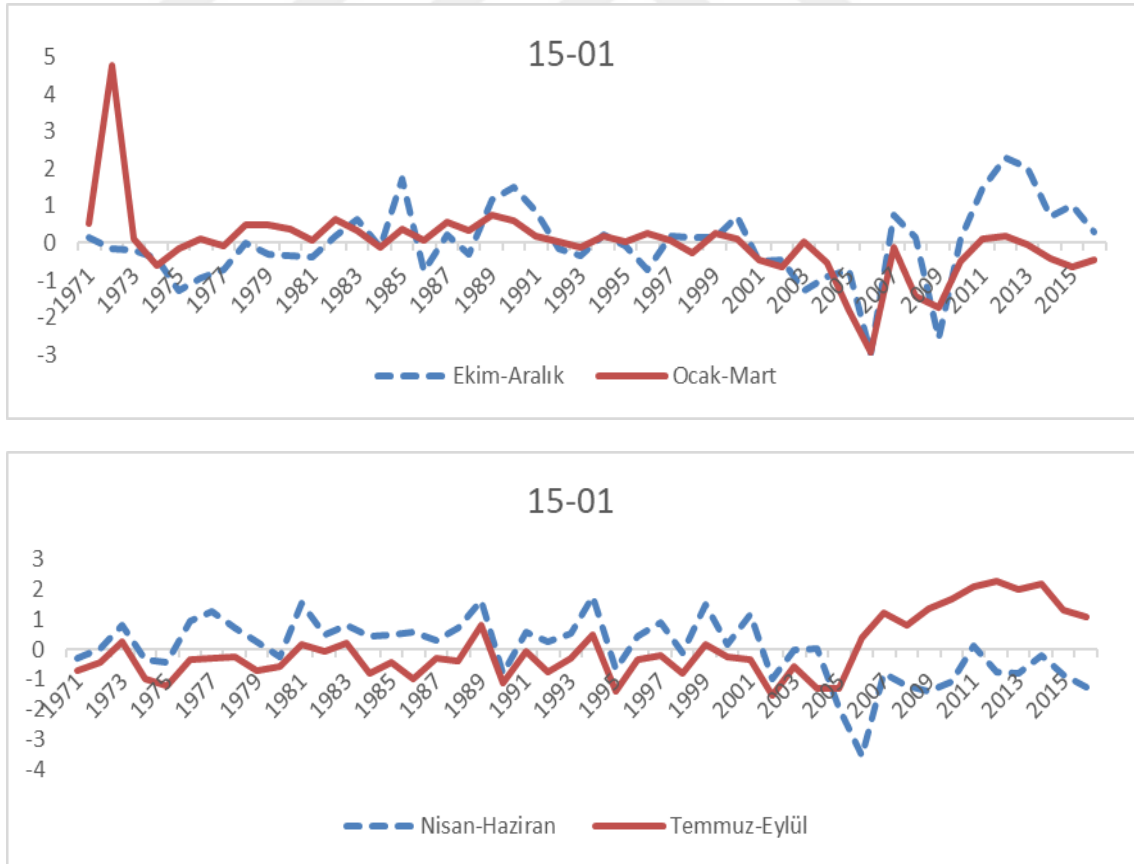
Tablo 3.23. Kızılırmak havzasında yer alan bazı istasyonların farklı kesim seviyelerinde korelasyon değerleri

R ²	Kesim seviyesi(KS)			
	0.5	1	1.5	2
Kaman	0.5973	0.5655	0.5076	0.4586
Sivas	0.7173	0.6046	0.5262	0.4655
Gemerek	0.6242	0.5917	0.5512	0.5234
Çankırı	0.6692	0.618	0.5642	0.5299
Boğazlıyan	0.7729	0.7066	0.6197	0.5615
Keskin	0.7146	0.644	0.5715	0.5193
Bafra	0.4796	0.4277	0.3908	0.3435

3.5.3. Yüzey Akışı Kuraklık İndisi (SDI)

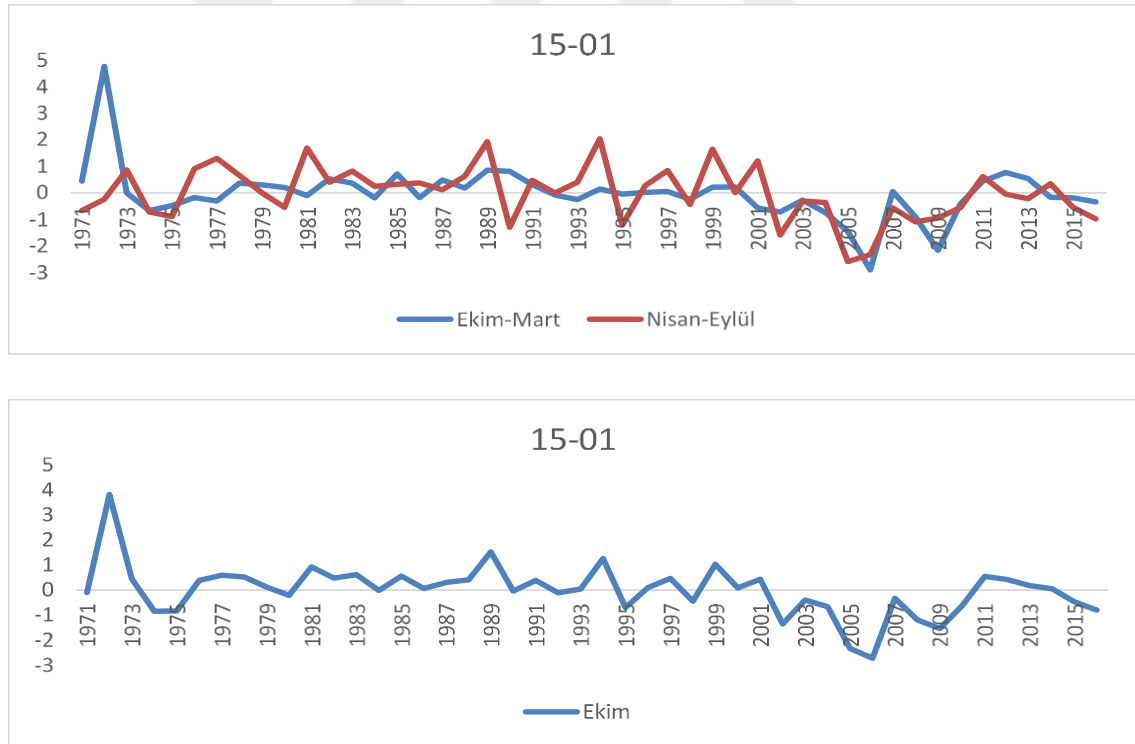
SDI ile yapılan analizlerde Kızılırmak havzasında yer alan uzun dönemli ve eksiksiz kayıtlara sahip 9 istasyon seçilmiştir. Kayıt eksikleri bulunan istasyonlarda analiz doğru sonuçlar vermemekte ve hesaplamalar hatalı olmaktadır. Elde edilen kayıtlarla akımlarda kuraklık analizi 1-3-6-9-12 aylık 5 farklı periyot baz alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiklerle verilmiştir.

Şekil 3.33'te 15-01 istasyonuna ait 3 aylık SDI analizleri sonuçları sunulmuştur. 3 aylık analizler Ekim-Aralık, Ocak-Mart, Nisan-Haziran ve Temmuz-Eylül dönemleri olarak hesaplanır. 15-01 Yamula istasyonunda 3 aylık mevsimsel akım analizlerinde 1975 yılında gözlenen orta şiddetli kuraklık haricinde kuraklık şiddeti 2000'li yıllara kadar hafif bir seyir izlemiştir. 1975 yılındaki kuraklık Temmuz-Eylül ve Ekim-Aralık döneminde orta şiddete ulaşmıştır. Temmuz Eylül döneminde yapılan incelemelerde 1990, 1995 ve 2002 yılları ile 2003-2005 döneminde orta şiddette kuraklıklar tespit edilmiştir. 3 aylık periyotlarda yapılan analizlerin diğer üç döneminde yani Ekim-Aralık, Ocak-Mart ve Nisan Haziran dönemlerinde 2005-2009 periyodunda kesintili şiddetli ve aşırı şiddetli kuraklıklar gözlenmiştir. Özellikle 2006 Nisan-Haziran dönemi -3.52'lik kuraklık şiddeti değeri ile o dönemde Yamula istasyonunda maksimum şiddete ulaşmıştır. Nisan-Haziran döneminde kuraklık 2011 yılında normale yaklaşmış ancak hafif kuraklıklar son dönemlere kadar devam etmiştir. 3 aylık analizlerde 2009 yılından sonra Nisan-Haziran dönemleri dışında kuraklık diğer dönemlerde gözlenmemiştir.



Şekil 3.33. 15-01 istasyonuna ait 3 aylık SDI analizi sonuçları

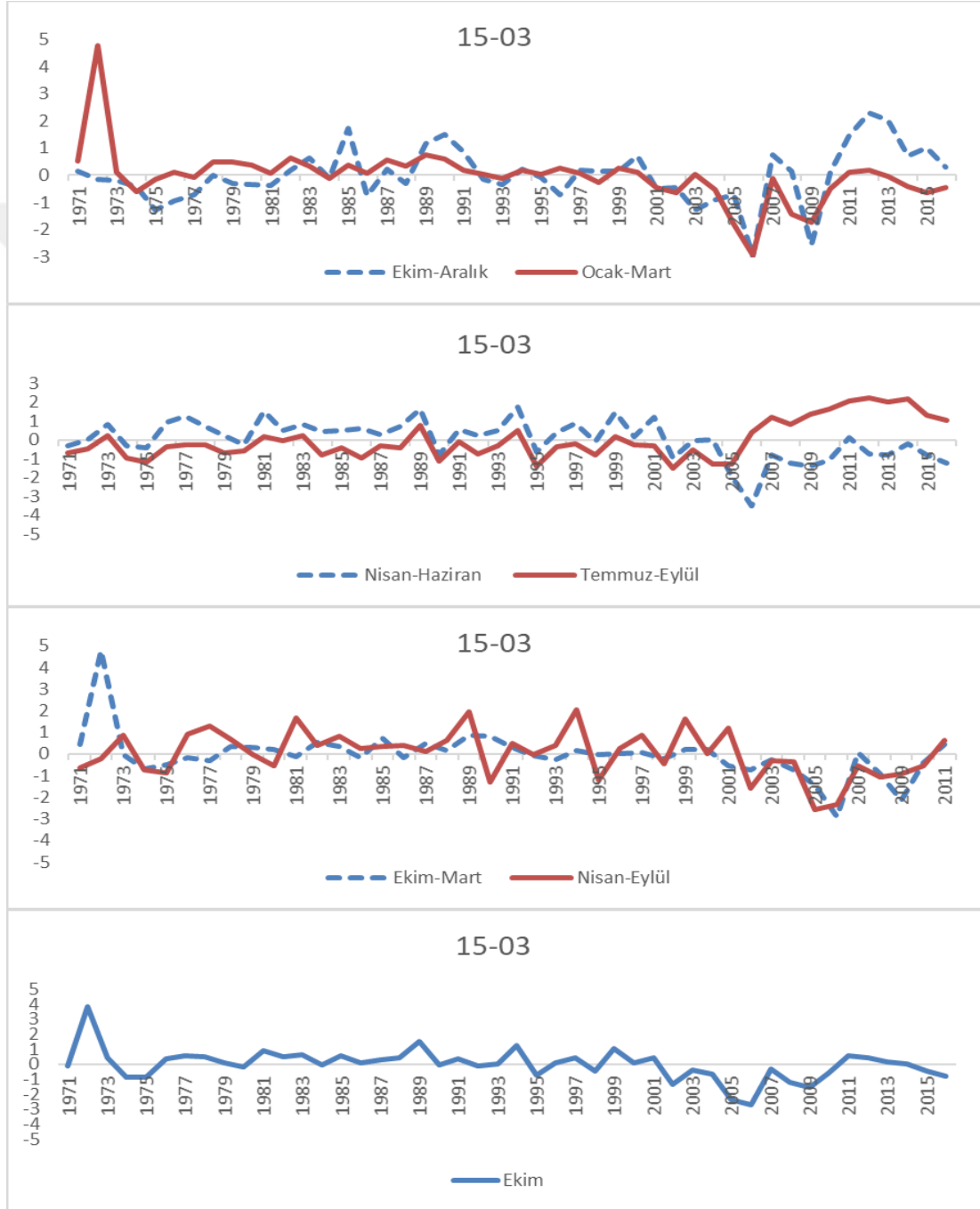
Şekil 3.34'te gösterilen 6 aylık SDI analizlerinin sonuçlarına göre Nisan-Eylül döneminde daha fazla kuraklık hâkim olduğu görülmektedir. Nisan-Eylül döneminde 1975 ve 1980 yıllarında hafif, 1990 ve 1995 yıllarında orta şiddete ulaşan kuraklıklar tespit edilmiştir. 2002 yılında kısa süreli orta şiddetli kuraklığın ardından 2005-2006 yılında uzun süren aşırı şiddetli kuraklıkların hâkim olduğu görülmüştür. 2007-2010 dönemi uzun süren hafif şiddetli kuraklıklar 2015-2017 döneminde de gözlenmiştir. Ekim-Mart dönemi incelemelerinde 1975-1977 ve 2000-2004 dönemi hafif şiddetli kuraklıklar görülmüştür. 2005-2010 döneminde 2004'te gözlenen hafif kuraklık tırmanarak 2006 yılında maksimum değer olan -2.90 şiddetine ve 2009 yılında -2.16 şiddetine ulaşmıştır. Her iki 6 aylık dönemde 1975 yılı ve 2004-2010 döneminin kurak olduğuna işaret etmektedir. 12 aylık analizlerde aynı sonuçları işaret etmiştir. Yamula istasyonunda en etkin kuraklık 1975-2006-2009 yıllarında sırasıyla orta ve aşırı şiddetli kuraklık olarak görülmüştür. Bu yıllar Türkiye 'nin kuraklıktan etkilendiği yıllardır.



Şekil 3.34. 15-01 istasyonuna ait 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

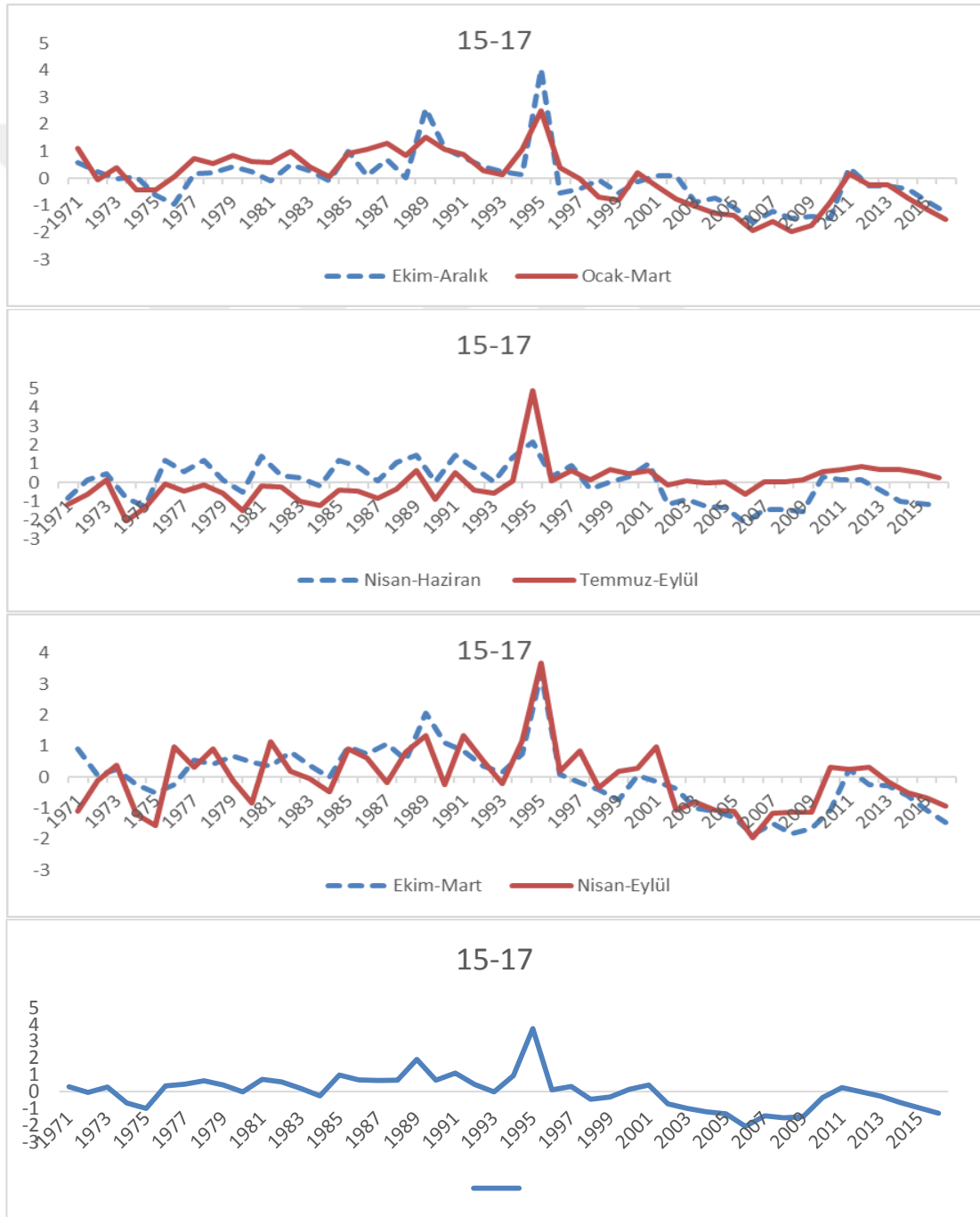
15-03 istasyonu SDI analizleri sonuçları Şekil 3.34'te verilmiştir. İstasyonda Ocak-Mart döneminde 1974-1975 ve 1985-1987 dönemi ile 1980, 2002, 2005 ve 2009 yılları kurak yıllar olarak görülmektedir. Hem 6 aylık hem de 12 aylık analizlerde 1974-1975, 1980 ve 2005-2010 arası dönemde kuraklık belirgindir. 2000 yılından itibaren özellikle Ekim-

Mart döneminde tırmanan bir kuraklık şiddeti görülmektedir. 2001, 2005 ve 2009 yılları kuraklıkta pik noktaları olarak izlenmiştir. 2007-2010 dönemi bütün periyotlarda -4.90 pik değerine ulaşan aşırı kuraklık şiddeti ile dikkat çekmektedir. 2009 tüm periyotlar için en kurak yıl olmuştur. Bu duruma 2000'li yıllarda başlayan ve aralıklarla etkileyen kuraklık dönemlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir.



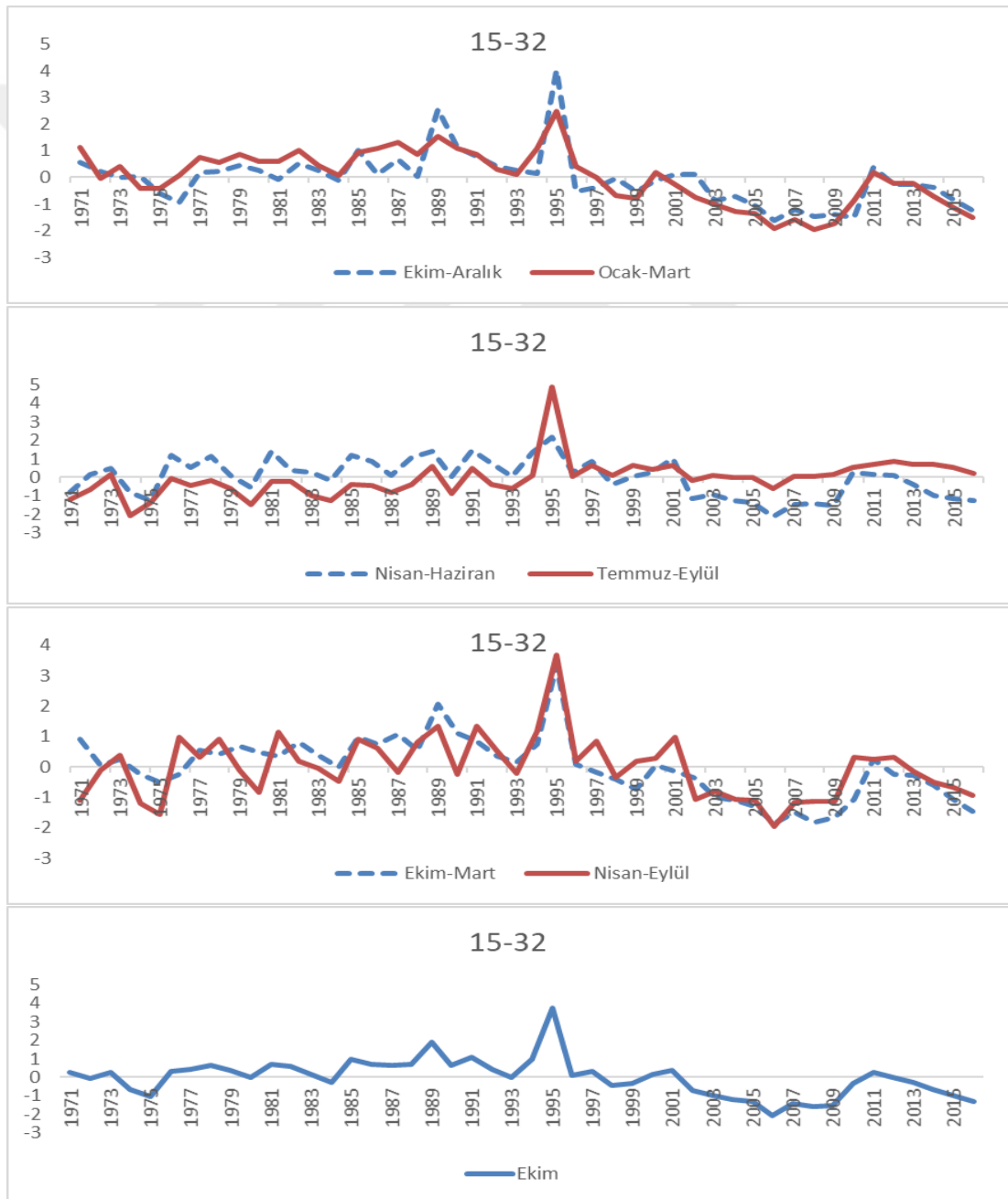
Şekil 3.35. 15-03 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-17 istasyonunda SDI analizleri sonucunda elde edilen veriler Şekil 3.35'te verilmiştir. 1973-1975 döneminde aşırı şiddete varan kuraklıklar görülmüştür. 2000'li yıllara kadar süreksiz birkaç kuraklık görülse de Temmuz-Eylül döneminde 1973-1995 arası yıllarda hafif ve sürekli bir kuraklık görülmektedir. 1999 yılından itibaren başlayan kuraklık periyodu geçen yıllarda artarak 2007-2009 yıllarında aşırı şiddete sahip kuraklığa dönüşmüştür. 2011 yılına kadar süren kuraklık oldukça uzun ve şiddeti yüksek olarak tespit edilmiştir. 2011-2013 aralığında normal seyir gözlenirken yıl sonuna doğru kuraklıklar şiddetini artırmış ve aşırı şiddete doğru devam etmiştir.



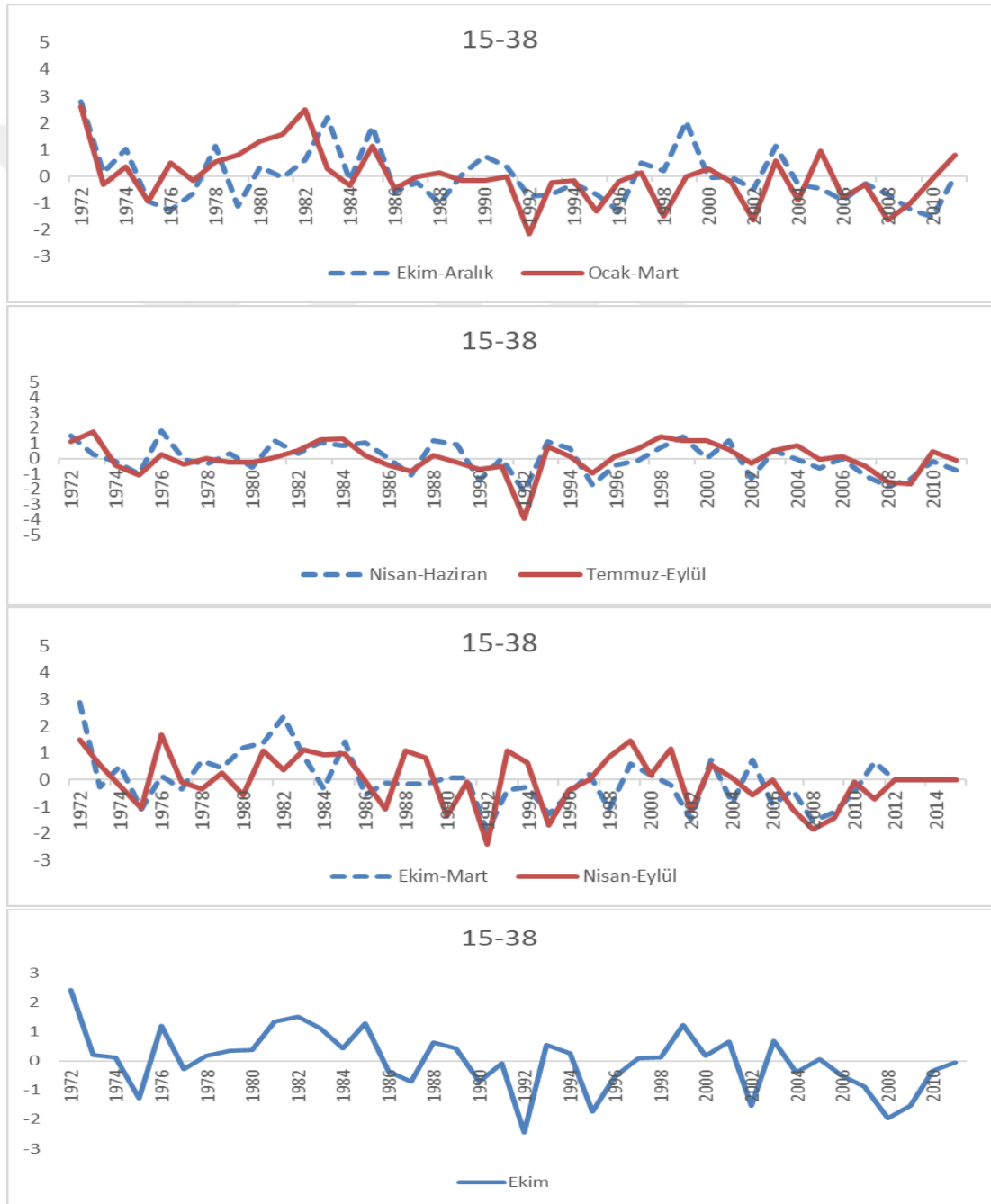
Şekil 3.36. 15-17 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-32 istasyonunda SDI ile yapılan analiz sonuçları Şekil 3.37’de verilmiştir. Buna göre 15-32 istasyonunda 3 ve 6 aylık grafiklerde 1972-1976 dönemi uzun süren aşırı şiddetli kuraklıklar etkili olmuştur. Özellikle Ocak-Mart dönemi kuraklık açısından daha şiddetli geçmiştir. 1980,1984,1986, 1991,1993,1995 ve 1998 yıllarında birden fazla periyotta orta şiddetli ve bazen şiddetli kurak yıllar olarak gözlenmiştir. 3 aylık SDI analizlerinde Temmuz-Eylül döneminin 1974-1990 yılları arasında sürekli hafif şiddetli bir kuraklık etkisinde olması dikkat çekicidir. Bu durum her yaz döneminde akışın normalin altında kaldığını göstermektedir. 1990 yılından sonraki dönemde 1995’te normal seviyelere ulaşsa da ardından yeniden hafif kurak paraleli izlemiştir.



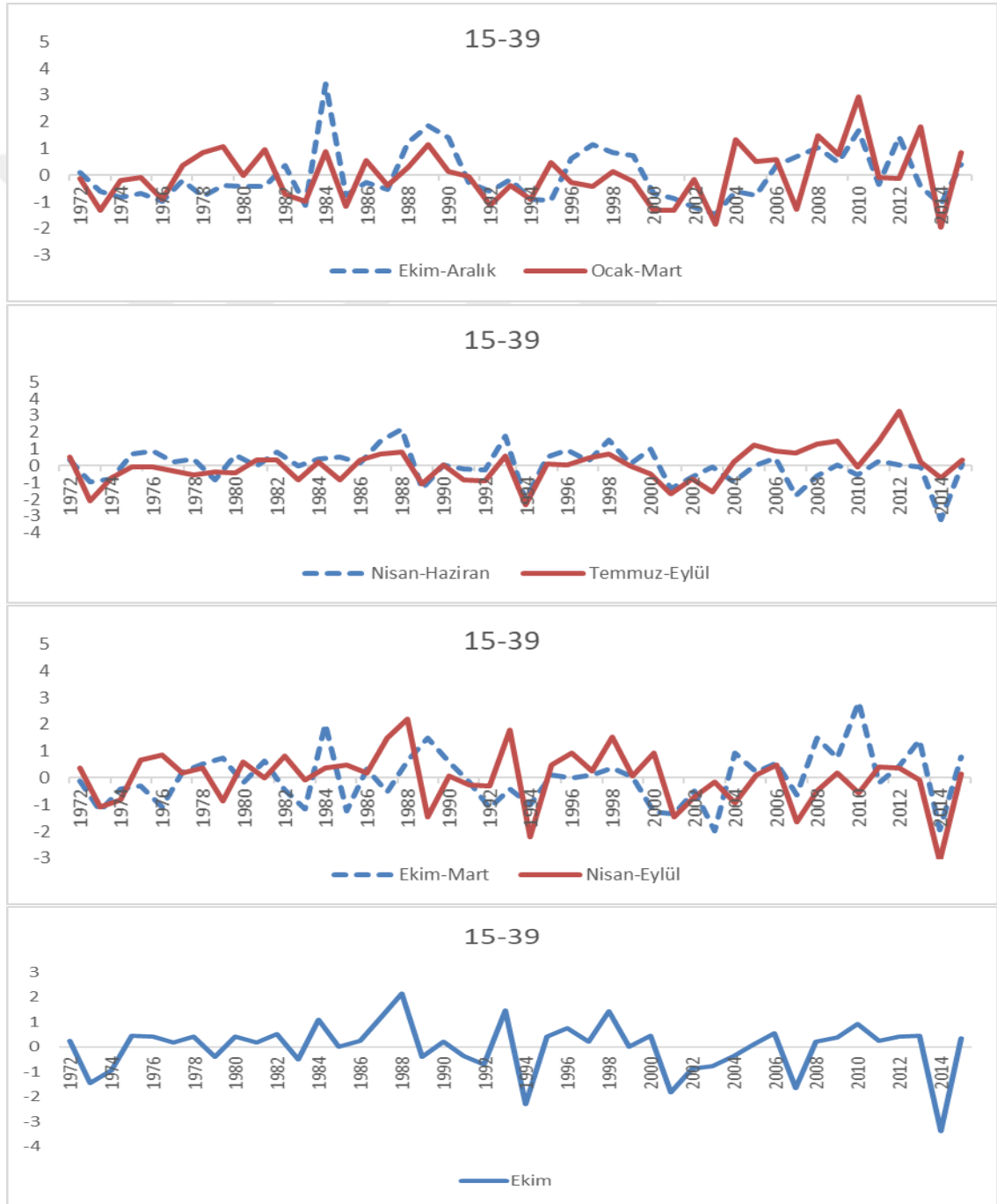
Şekil 3.37. 15-32 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-38 istasyonunda yapılan analizler sonucunda elde edilen kuraklık değerleri Şekil 3.38’de verilmiştir. 1973-1976 döneminde görülen hafif kuraklık 1975’te orta şiddetli kuraklığa ulaşmıştır. Aralıklarla çok hafif kuraklığın gözlemlendiği istasyonda en kurak dönemler 1990, 1992, 1995, 1998 ve 2002 yıllarıdır. Bu dönemlerde gözlenen kuraklıklar 1992 yılı hariç orta şiddetli ve kısa süreli olmuştur. 1992 yılı kısa süreli aşırı şiddetli kuraklığın görüldüğü bir dönem olmuştur. 2002’den sonraki yıllarda kuraklık aralıklarla devam etmiş ve 2005’te hafif şiddette başlayan kuraklık 2008’de aşırı kuraklığa kadar derinleşmiştir. 2010 yılına kadar devam etmiştir.



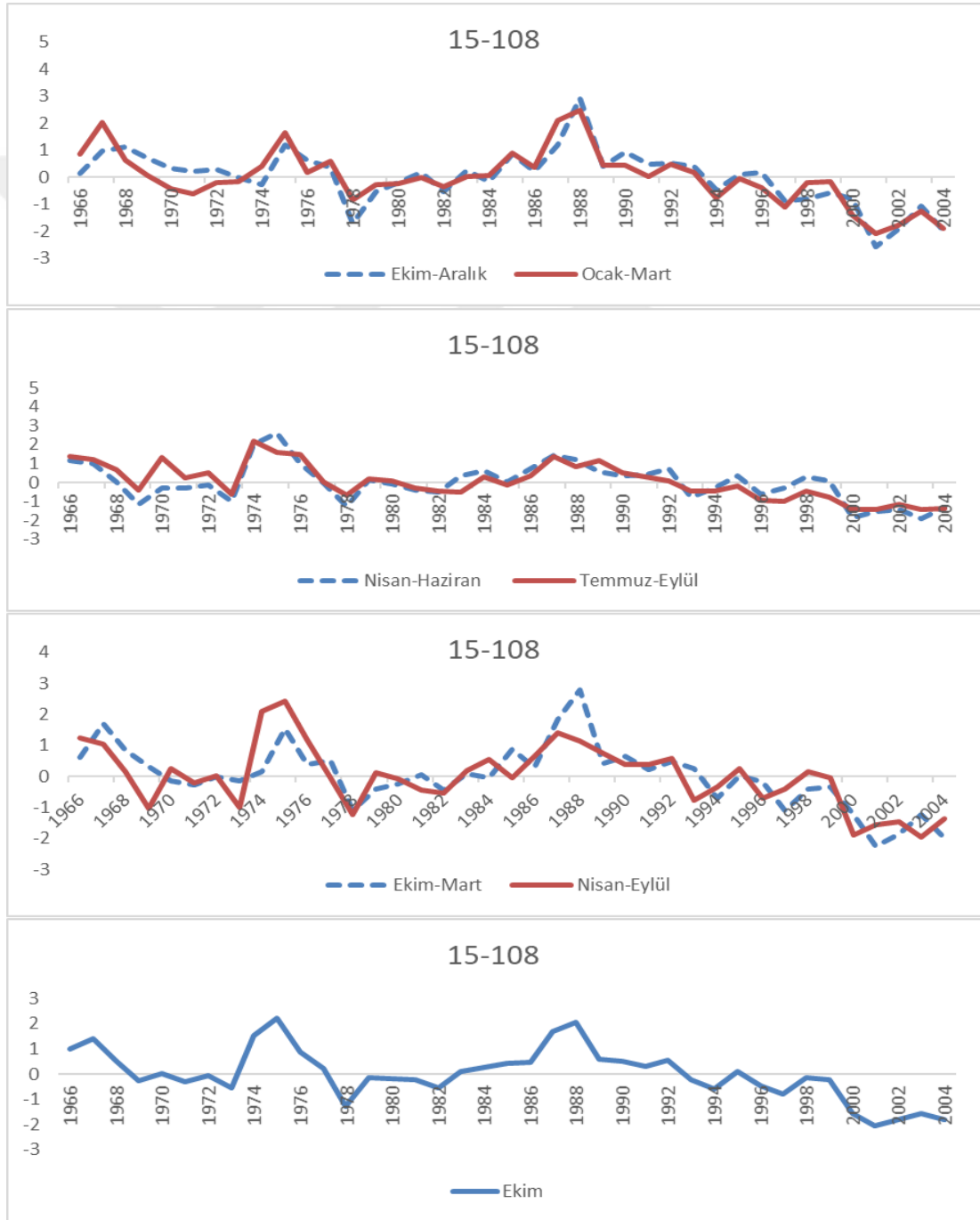
Şekil 3.38. 15-38 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-39 istasyonunda yapılan analizler sonucunda elde edilen kuraklık değerleri Şekil 3.39'da verilmiştir. 1972, 1974, 1976, 1980 ve 1989 yılları hafif ve orta şiddetli kuraklığın etkin olduğu zaman dilimleridir. 1994 yılı aşırı şiddete ulaşan kuraklık, 2000'li yıllarda hafif şiddette gözlenmiş ardından aralıklarla 2001, 2004 ve 2007'de şiddetli kuraklığa kadar ulaşmıştır. 2010 yılında hafif şiddette izlenen kuraklık 2014 yılında aşırı kurak olan -3.38 değerine kadar yükselmiştir.



Şekil 3.39. 15-39 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-108 istasyonunda kayıtlar 1966-2005 yılları arasını kapsamaktadır. Şekil 3.40'ta verilen analiz sonuçlarına göre 1970 ve 1974 yıllarında kısa süreli ve hafif şiddetli kuraklıklar görülmüştür. 1978 yılında kuraklık şiddeti orta şiddete ulaşmış ve 1982 yılına kadar hafif şiddette devam etmiştir. 1992 -2002 döneminde hafif şiddetle kuraklıkların görüldüğü istasyonda kuraklığın artarak 2001-2004 döneminde aşırı kuraklıkların meydana geldiği görülmüştür.



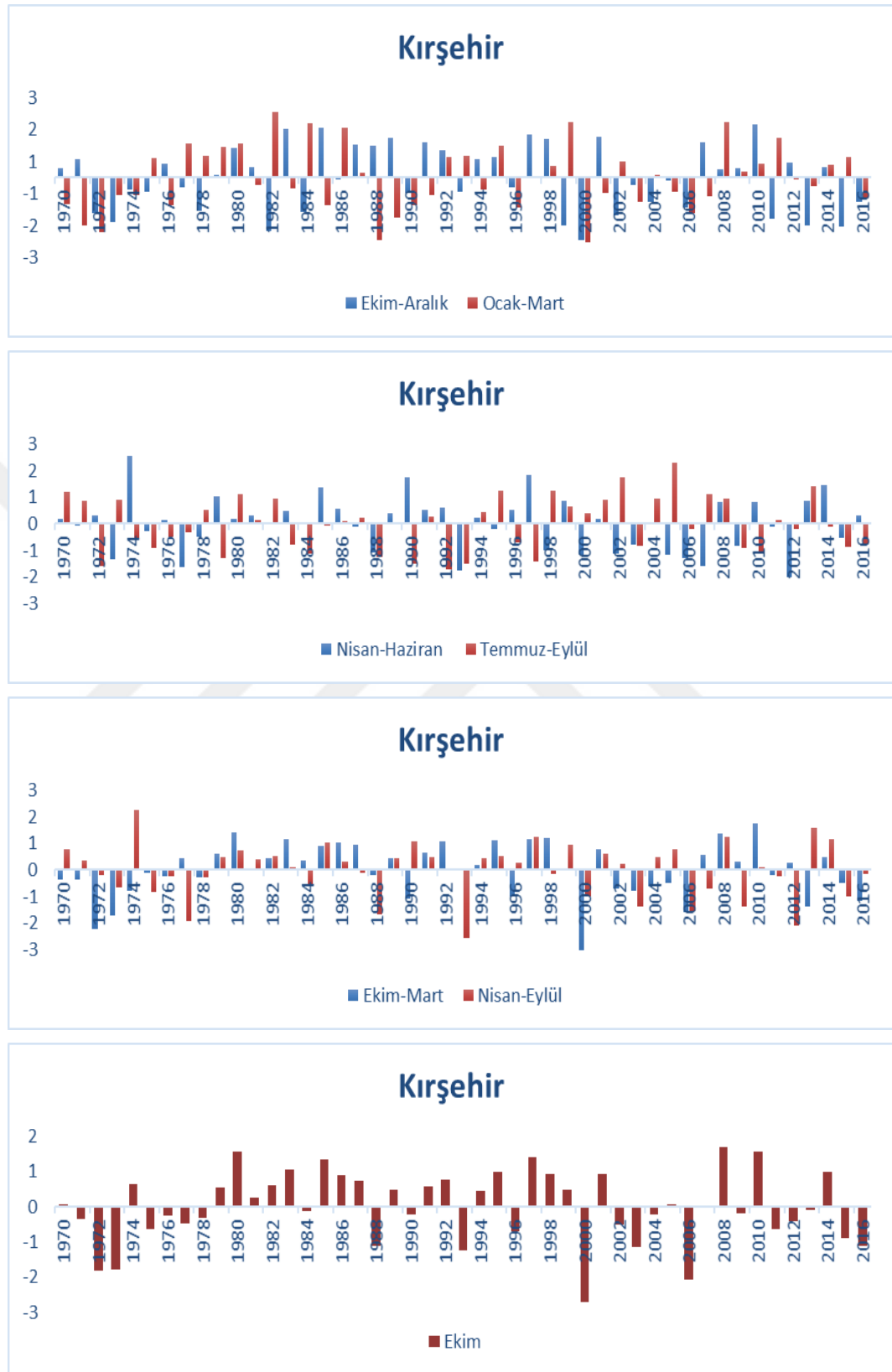
Şekil 3.40. 15-108 istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık SDI analizi sonuçları

15-182 istasyonunda 2000 yılına kadar belirgin bir kuraklık görülmemiştir. Ancak 2000-2005 döneminde kuraklık hafif şiddetten başlayarak giderek artmakta önce orta şiddete ardından 2005 yılında şiddetli bir kuraklığa ulaşmıştır. 2008 yılında yeniden kuraklık aşırı şiddete kadar ulaşmıştır.

3.5.4. Keşif Kuraklık İndisi (RDI)

Keşif kuraklık indisi yağış ile potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin birlikte kullanılarak yapıldığı bir analizdir. Sadece yağış eksikliğinin değil buharlaşma etkisinin de dikkate alınarak kuraklığın değerlendirilmesini yapabilmek amacıyla uygulamaya dahil edilmiştir.

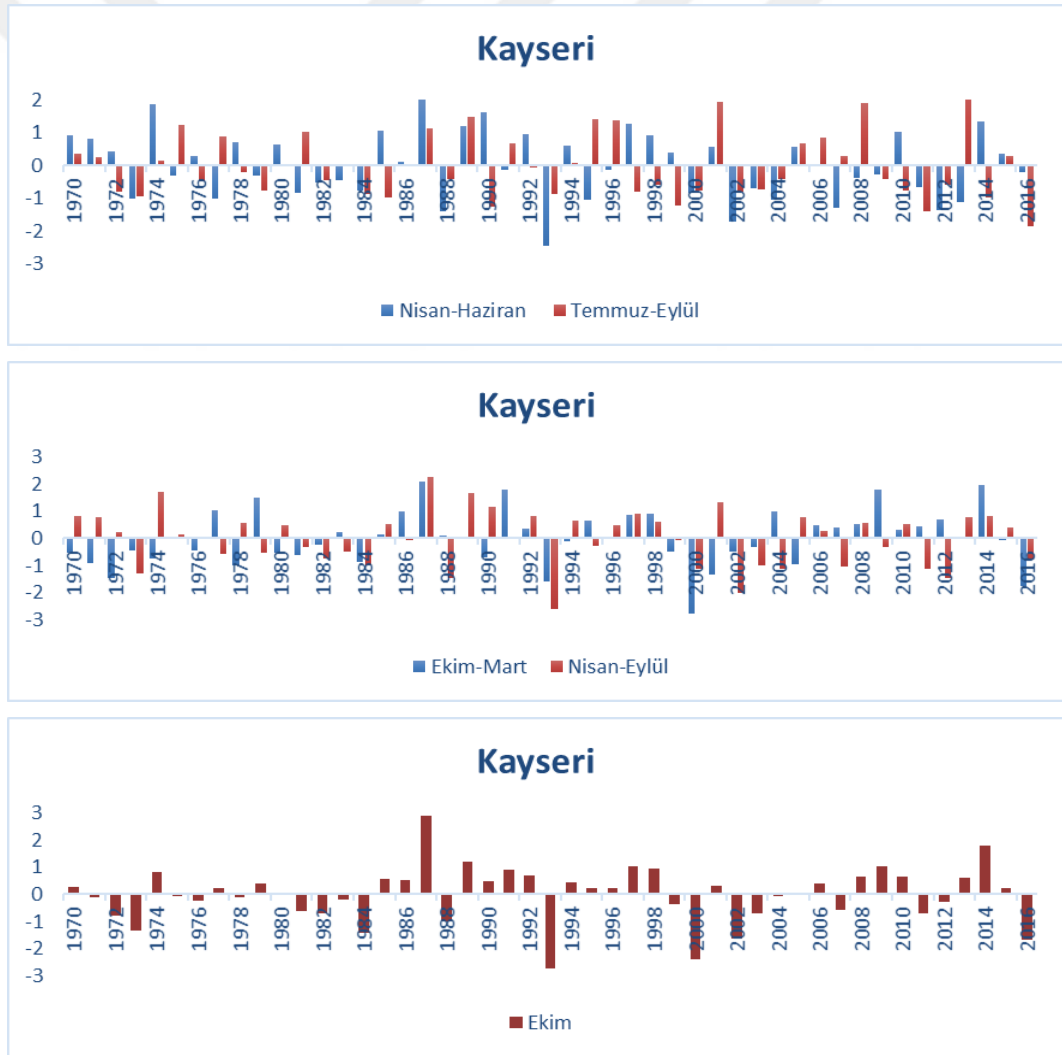
RDI analizleri sonucunda Kırşehir istasyonunda elde edilen değerler Şekil 3.41’de sunulmuştur. 1970 yılı Ocak-Mart döneminde orta şiddetli kuraklık gözlenirken 1972 ve 1973 yılları boyunca şiddetli ve aşırı kurak bir dönem gözlenmiştir. Ardından gelen dönemde 1976-1978 döneminde hafif şiddetli, 1982 ve 1984 yılları Ekim-Aralık dönemlerinde aşırı ve orta şiddetli kuraklıkların ortaya çıktığı izlenmiştir. Üç aylık grafiklerde 1982, 1988, 1998, 2000, 2012 ve 2014 yıllarında kuraklığın aşırı kuraklık seviyesine ulaştığı görülmektedir. 6 aylık grafiklerde 1972, 1993, 2000 ve 2012 yılı aşırı kurak dönemlerdir. 1993 ve 2000 yılında kuraklık değerleri -2.55 ve -3.03 değerine kadar ulaşarak kuraklığın en uçlarda gözlemlendiğini göstermişlerdir. Yıllık grafikte ise 1972, 1974, 2000 ve 2006 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. Üç farklı periyottaki grafiklerde 1972 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak izlenmiştir. 1993 yılı 3 aylık ve yıllık grafiklerde orta ve şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.41. Kırşehir istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Kayseri istasyonunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.42' de verilmiştir. Sonuçlara göre 3 aylık analizlerde 1973, 1976-1985 ve 2002-2004 dönemi aralıklarla hafif; 1974, 1984, 1983, 1988, 1994, 1999, 2006, 2011 ve 2012 yılları orta şiddette kurak olarak tespit edilmiştir. 1988, 1993, 2000 ve 2016 yılları ise aşırı kurak olarak kaydedilen yıllardır. Bu periyot için en şiddetli kuraklık -2.53 ile 1988 yılı Ocak-Mart döneminde gerçekleşmiştir.

6 aylık analizlerde 1972, 1973, 1988, 2004, 2007, 2010 ve 2012 yılları orta şiddetli kurak, 2016 yılı şiddetli kurak ve 1993, 2000 ve 2002 yılları Aşırı kurak yıllar olarak tespit edilmiştir. Yıllık grafikte 1973, 1984, 2002 ve 2016 orta kurak iken 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak yıllar olmuştur.

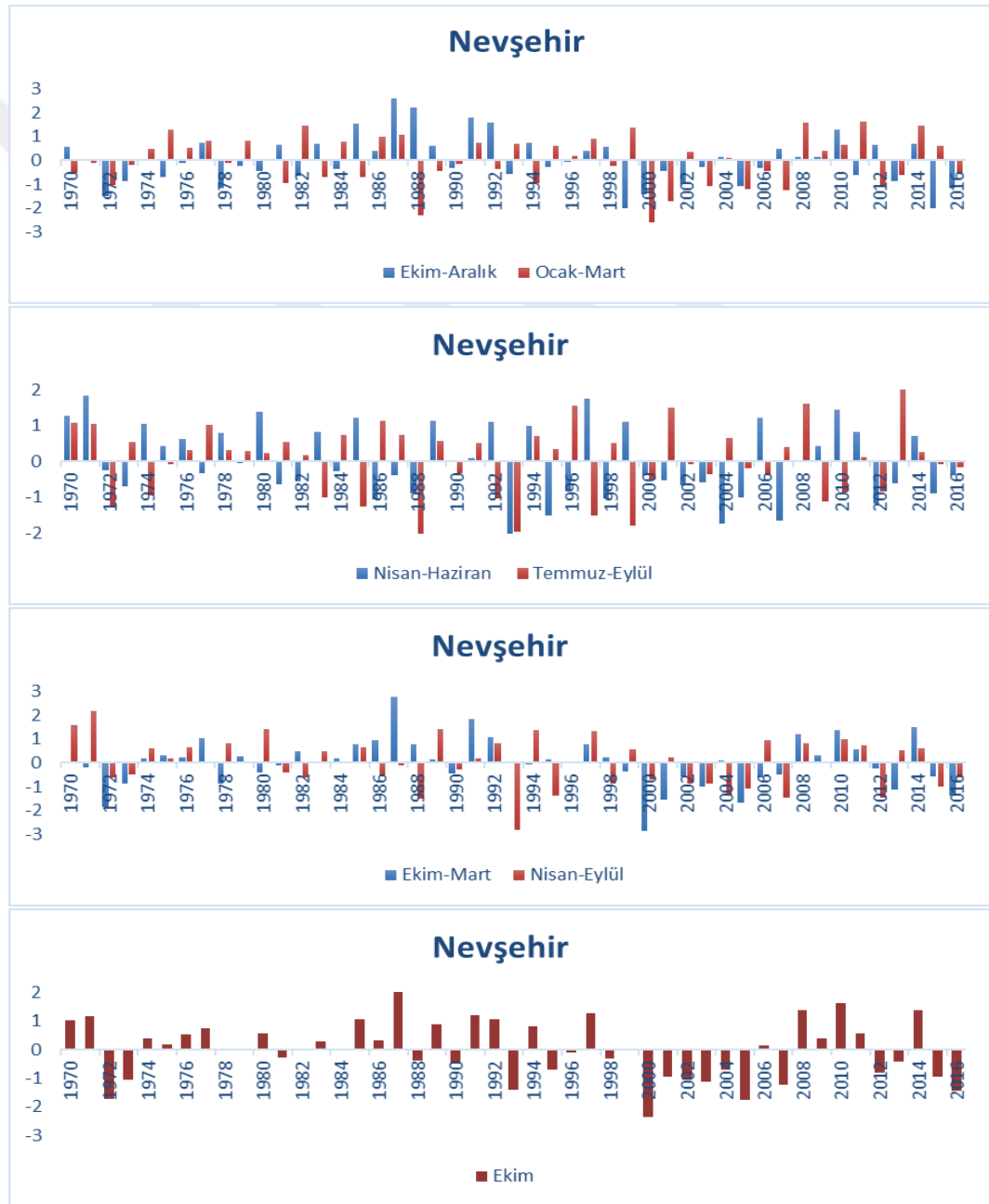


Şekil 3.42. Kayseri istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Nevşehir istasyonunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.43'te verilmiştir. Sonuçlara göre 3 aylık analizlerde 1972, 1974, 1992, 1996 ve 2010 yılları aralıklarla hafif; 1986, 1995,

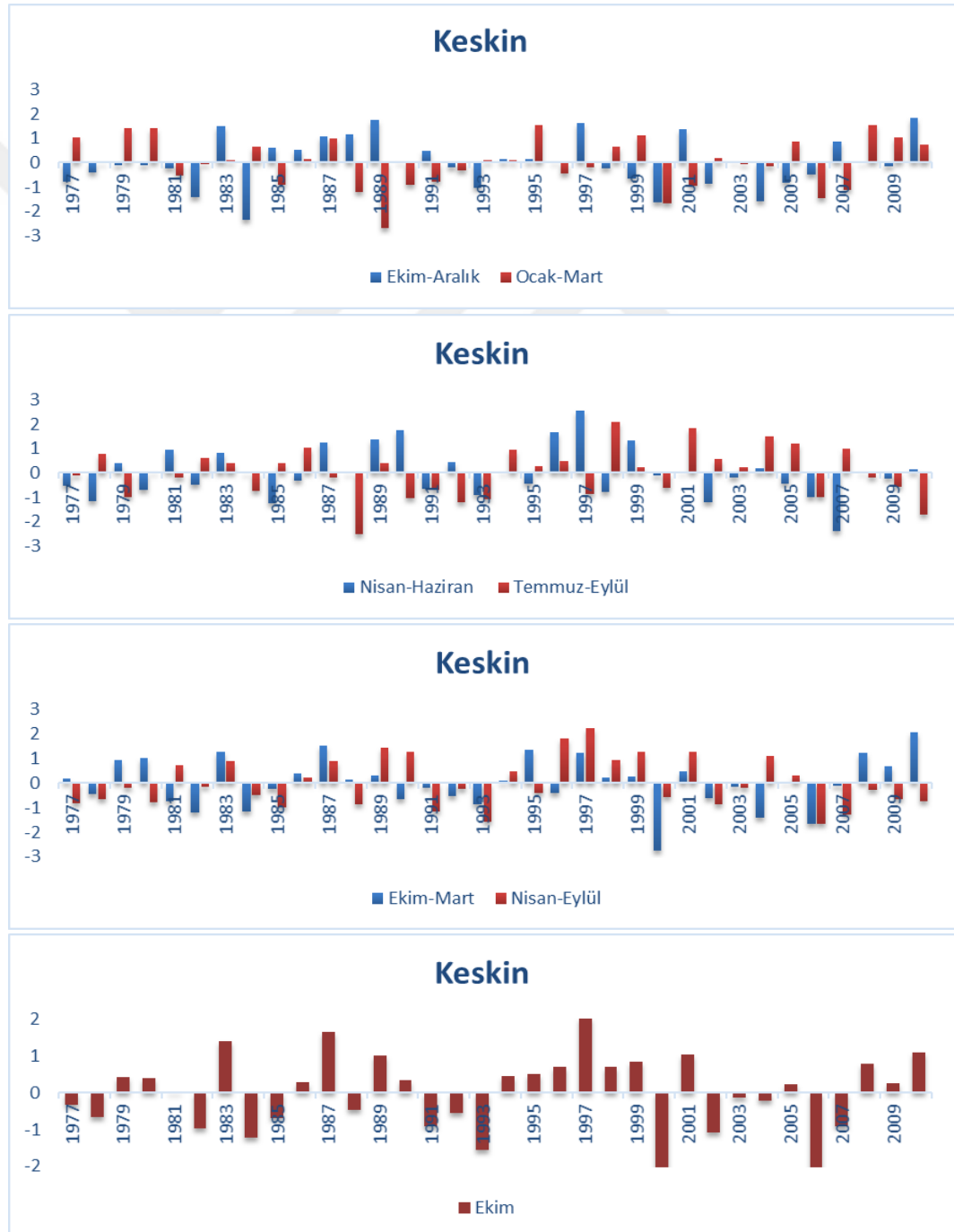
1997-1999 dönemi, 2001, 2004 , 2007 ve 2012 yılları orta şiddette ve şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir. 1988, 1993, 2000 ve 2014 yılları ise aşırı kurak olarak kaydedilen yıllardır. Bu periyot için en şiddetli kuraklık -2.59 ile 2000 yılı Ocak-Mart döneminde gerçekleşmiştir.

6 aylık analizlerde 1972, 1988, 2001, 2004, 2007, 2012 ve 2016 yılları orta şiddetli kurak, 2005 yılı şiddetli kurak ve 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak yıllar olarak tespit edilmiştir. Yıllık analizlerde 1993 ile 2016 yılları orta şiddetli kurak ve 1972 ile 2005 yılları şiddetli kurak iken 2000 yılı aşırı kurak yıl olarak izlenmiştir.



Şekil 3.43. Nevşehir istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

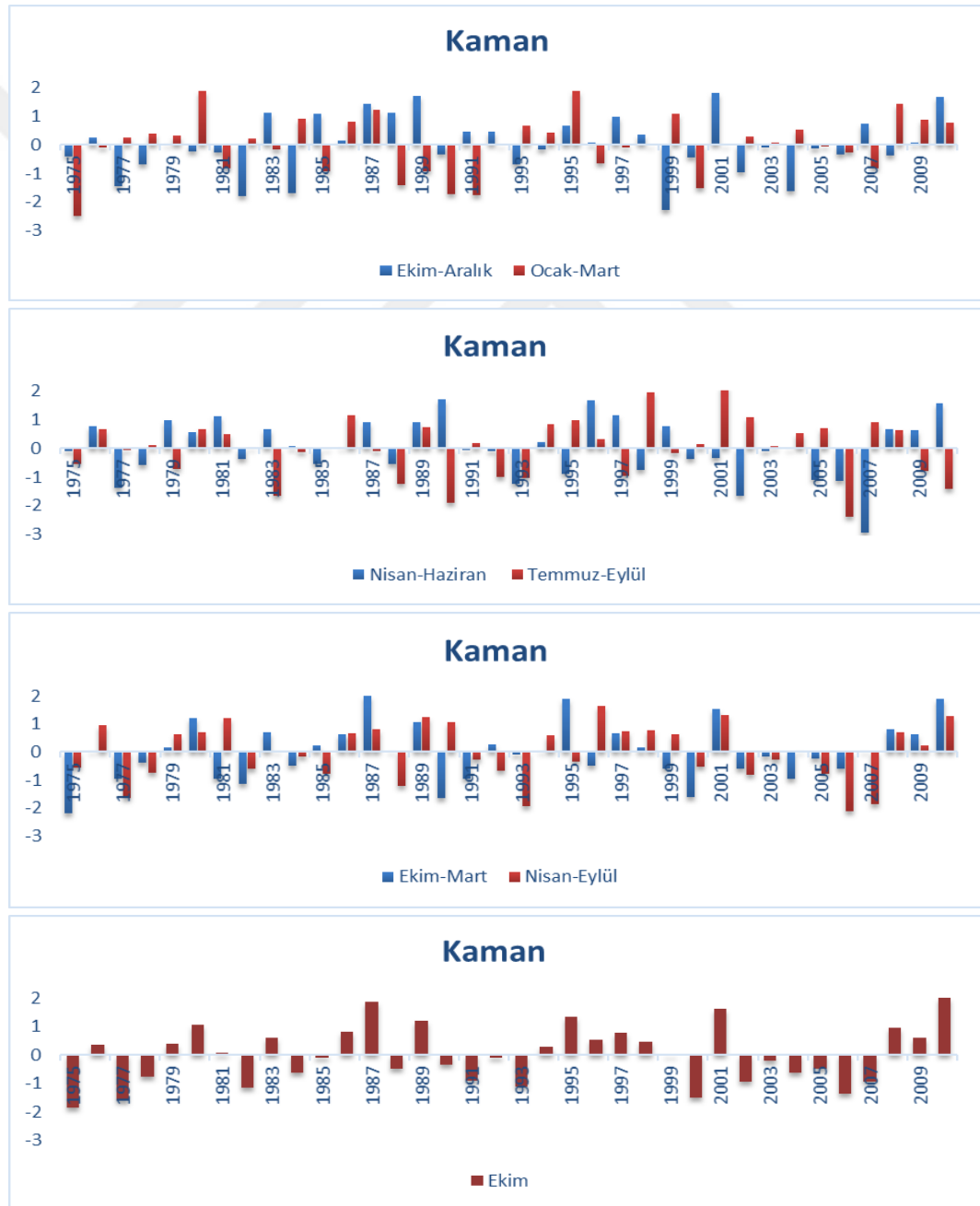
Şekil 3.44'te Keskin istasyonuna ait RDI analizi sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre 3 aylık analizlerde 1982, 1988, 1992, 1993 ve 2006 yılları orta şiddetli kurak ve 2000, 2004 ve 2010 yılları şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak yıllar 1983, 1989 ve 2007 yıllarıdır. 6 aylık analizlerde 1982,1984, 1991, 2004 ve 2007 yılları orta şiddetli kurak; 2006 yılı şiddetli kurak ve 2000 yılı aşırı kurak olarak izlenmiştir. Yıllık analizlerde 1984 ve 2000 orta şiddetli kurak,1993 şiddetli kurak ve 2000 ve 2006 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.44. Keskin istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

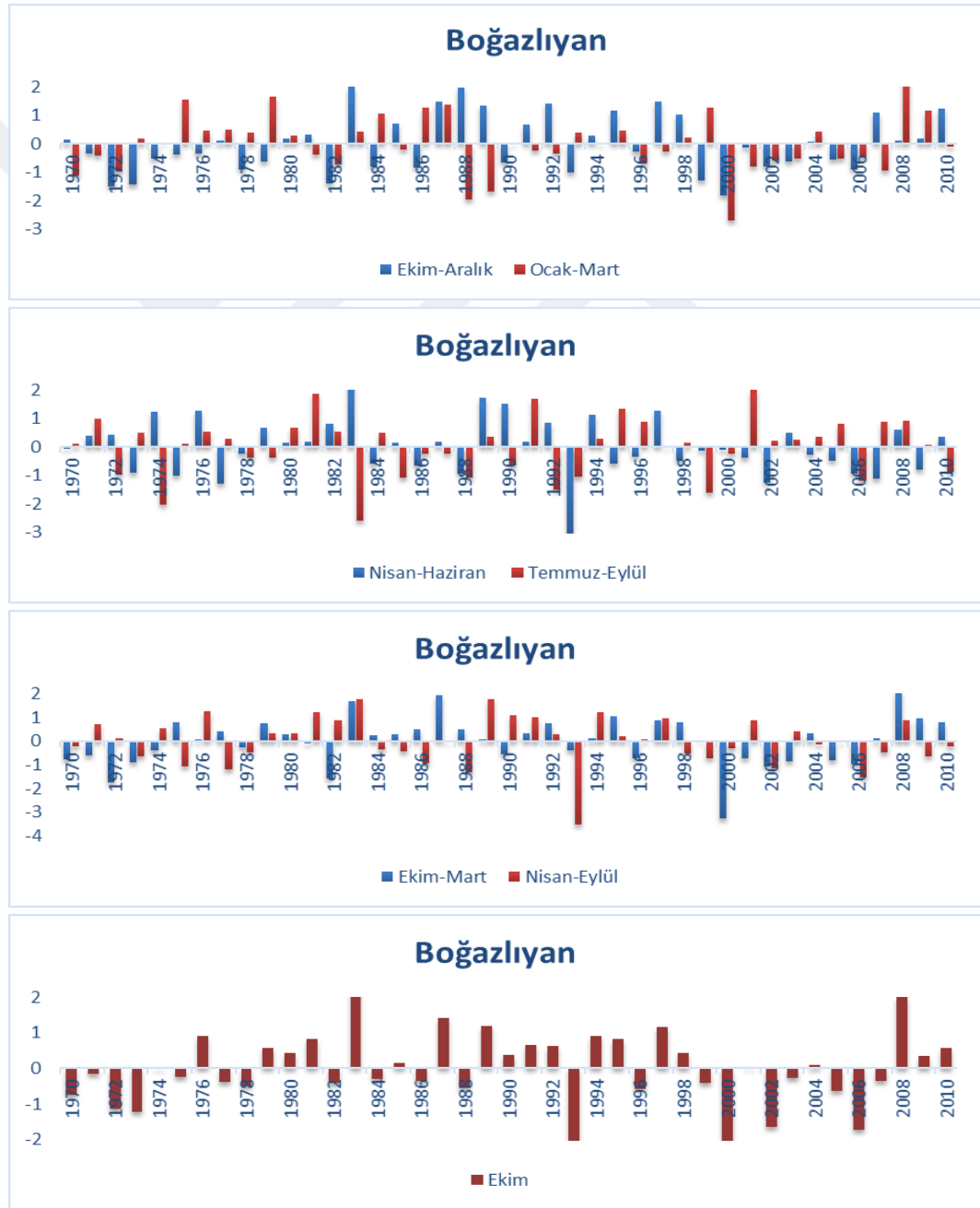
Kaman istasyonunda RDI analizi ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.45'te sunulmuştur. 3 aylık analizlerde 1977, 1988 ve 1993 yılları orta kurak; 1982, 1983, 1984, 1990, 1991, 2000, 2001, 2002 ve 2004 yılları şiddetli kurak ve 1975, 1999, 2006 ve 2007 yılları aşırı kurak dönem olarak bulunmuştur.

6 aylık analizlerde 1982 ve 1988 yılları orta şiddetli kurak; 1977, 1990, 1993 ve 2007 yılları şiddetli kurak ve 1975 ve 2006 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. Yıllık analizlerde 1982, 1993 ve 2006 orta şiddetli kurak; 1975, 1977 ve 2000 yılları Şiddetli kurak olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak yıl gözlenmemiştir.



Şekil 3.45. Kaman istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Boğazlıyan istasyonuna ait RDI analizi sonuçları Şekil 3.46'da sunulmuştur. 3 aylık analizlerde 1970, 1972, 1973, 1982, 1993, 2002 ve 2006 yılları orta şiddetli kurak; 1988, 1989, 1992 ve 1999 yılları şiddetli kurak ve 1974,1983, 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak dönem olarak bulunmuştur. 6 aylık analizlerde 1975,1977, 1988 ve 2002 yılları orta şiddetli kurak; 1972,1982 ve 2006 yılları şiddetli kurak ve 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. Yıllık analizlerde 1972 ve 1973 orta şiddetli kurak; 2002 ve 2006 yılları şiddetli kurak ve 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir.



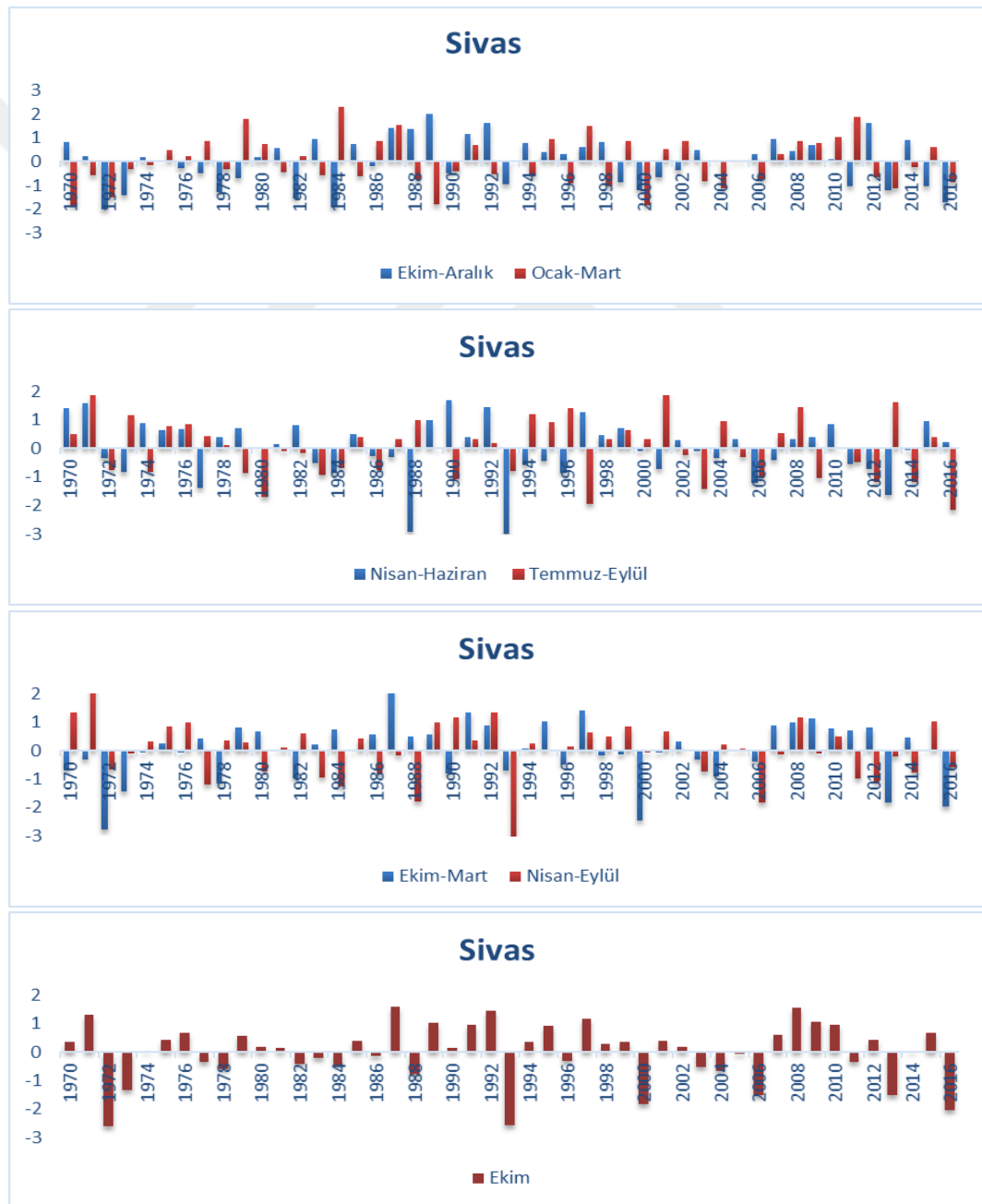
Şekil 3.46. Boğazlıyan istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Kastamonu istasyonuna ait RDI analizi sonuçları Şekil 3.47’de sunulmuştur. 3 aylık analizlerde 1972, 1973, 1975, 1979, 1992, 2001, 2002, 2004 ve 2012 yılları orta şiddetli kurak; 1976,1980,1984, 1985, 1987, 2000, 2005 ve 2006 yılları şiddetli kurak ve 1984,1989,1993, 2013 ve 2016 yılları aşırı kurak dönem olarak bulunmuştur. 6 aylık analizlerde 1975, 1984 ve 2002 yıllarında orta şiddetli kurak; 2005, 2006 ve 2013 yıllarında şiddetli kurak ve 1993, 2000 ve 2016 yıllarında aşırı kurak dönem etkili olmuştur. Yıllık analizlerde 1994, 2000, 2004 ve 2016 yıllarında orta şiddetli kurak ve 1993 ve 2006 yıllarında aşırı kurak dönem gözlenmiştir.



Şekil 3.47. Kastamonu istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Sivas istasyonuna ait RDI analizi sonuçları Şekil 3.48’de sunulmuştur. 3 aylık analizlerde 1973,1977, 1978, 1990, 1998, 2003, 2004, 2006, 2009, 2011 ve 2015 orta şiddetli kurak; 1970, 1980, 1982, 1984, 1989, 1997, 2000 ve 2013 şiddetli kurak ve 1972,1988, 1993 ve 2016 aşırı kurak olarak gözlenmiştir. 6 aylık analizlerde 1973, 1977, 1978, 1980, 1982, 1983, 1985 ve 2012 yılları orta şiddetli kurak; 1988, 2006, 2012 ve 2016 yılları şiddetli kurak ve 1972, 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. Yıllık analizlerde 2000,2006 ve 2013 yılları şiddetli kurak ve 1972,1993 ve 2016 yılları aşırı kurak olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.48. Sivas istasyonuna ait 3, 6 ve 12 aylık RDI analizi sonuçları

Bafra istasyonunda 3 aylık grafiklerde 1972, 1978, 1982, 2000, 2002 yılları şiddetli kurak ve 1970 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir. 6 aylık grafiklerde 1986, 1988, 1993, 1996, 2000 ve 2006 orta kurak olarak tespit edilmiştir. Şiddetli ve aşırı kurak devreler izlenmemiştir.

Çankırı istasyonunda 3 ve 6 aylık analizlerde 1972, 1973,1974, 1977, 1978, 1980, 1982, 1984, 1985, 1988, 1990, 1991, 1993, 2002, 2011, 2012, 2016 yılları hafif, orta ve şiddetli kuraklığın görüldüğü dönemler olup 1992 ve 2006 yıllarında aşırı kuraklık izlenmiştir. Yıllık analizlerde ise 1993 ve 2000 yıllarında aşırı kurak dönemler görülmüştür.

Çiçekdağı istasyonunda 1972,1973,1977, 1978, 1981,1982, 1984, 1985, 1988,1989,1990, 1992, 1993, 2000, 2005-2008 dönemi kurak geçen yıllardır. 1977 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir.

Develi istasyonunda 1972,1974, 1983, 1984,1988, 1989, 1990, 1993, 1997, 1999, 2000, 2002 ve 2005 yıllarında kuraklık görülmüştür. Bu yıllarda 1972, 1974, 1988, 1993 ve 1999 yılları aşırı kurak yıllar olarak dikkat çekmektedir. 1993 yılı -3.46 değeri ile kuraklığın derinliğinin arttığını göstermektedir.

Gemerek istasyonunda 1973, 1977,1979,1982, 1984, 1988, 1989, 1990, 1992, 1993 1994, 1996-1998 dönemi, 2000, 2009 ve 2011-2013 yıllarında kuraklıklar gözlenmiştir.1988, 1989, 1993 ve 2000 yılları aşırı kurak olarak tespit edilmiştir.

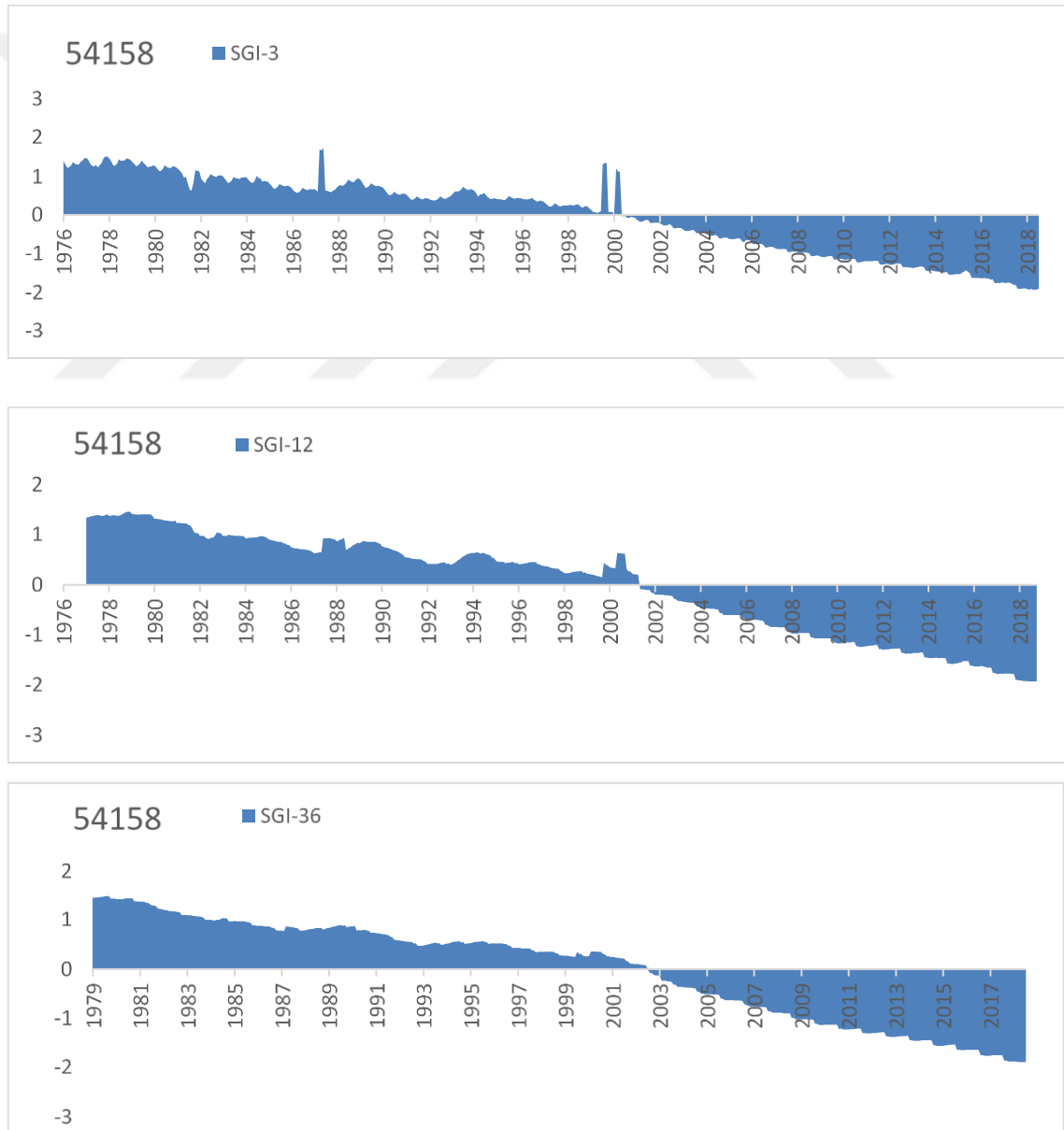
Yozgat istasyonunda 1970-1973, 1976-1979, 1988-1990, 1996-2000 ve 2002-2007 dönemleri ile 1982, 1984, 1985, 1992, 1993, 2009, 2010, 2012, 2014, 2015 yılları kurak periyotlar olmuştur. 1988, 1993 ve 2000 yıllarında kuraklık aşırı seviyeye ulaşmıştır. Özellikle 2000 yılında -3.09 değeri ile en yüksek değere ulaşmıştır.

3.5.5. Standartlandırılmış Yeraltı Suyu İndisi (SGI)

Kızılırmak havzasında yapılan kuraklık araştırmasında yağış ve akış verileri ile yapılan analizlere ek olarak yeraltı suyu seviyeleri baz alınarak SGI ile yeraltı suyunda gözlenen kuraklıklar tespit edilmiştir. Kızılırmak havzasının Boğazlıyan, Develi ve Kırşehir alt havzalarında bulunan yeraltı su kuyularının kaydedilmiş seviyeleri kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Develi alt havzasında yer alan kuyuların kayıtları 1970’li yıllara

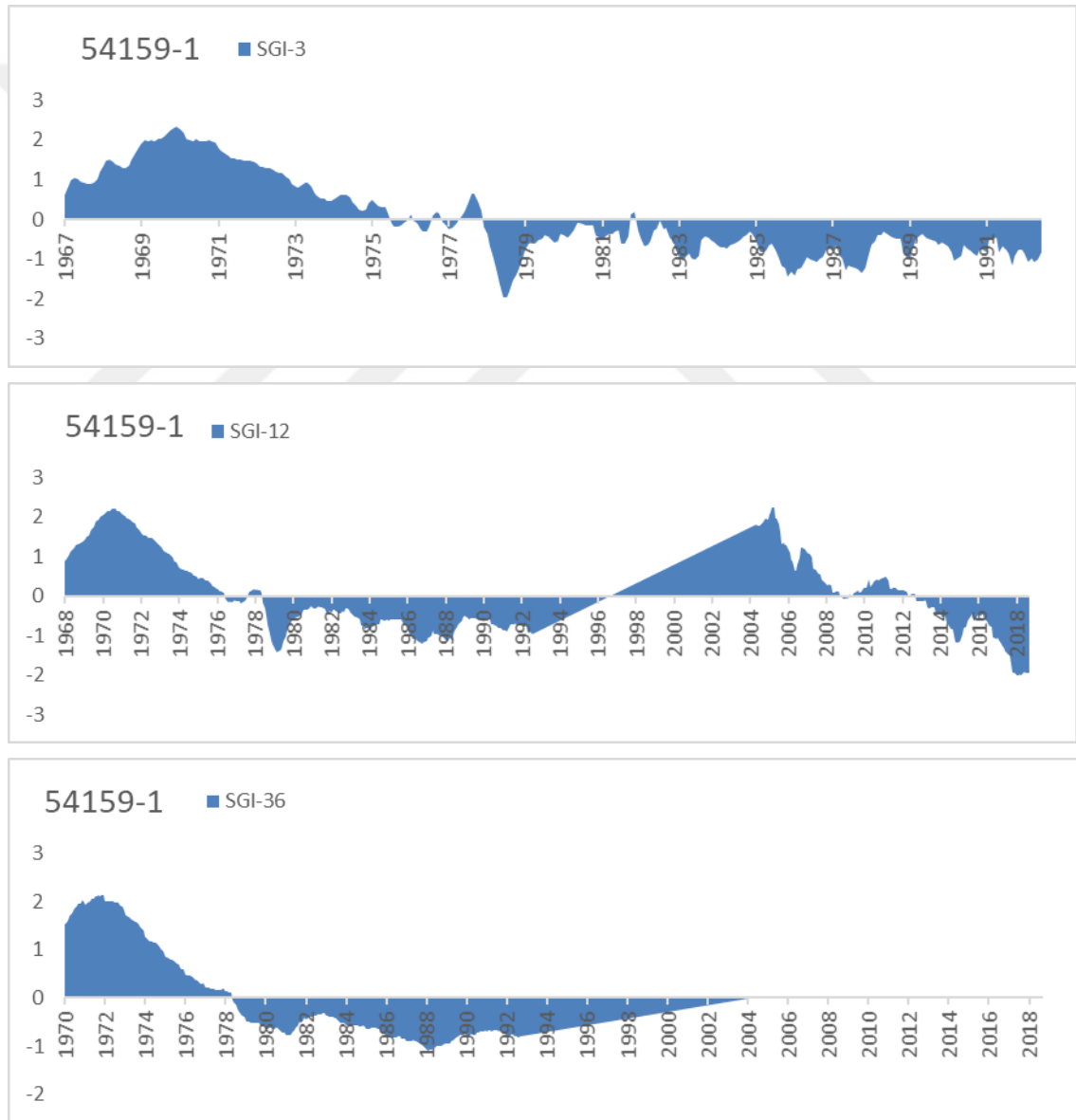
dayanmaktadır. Boğazlıyan ve Kırşehir havzasındaki kayıtlar 2000’li yıllardan başlamaktadır.

Develi alt havzasında yer alan 54158 istasyonunda yapılan analizlerin sonuçları Şekil 3.49’da verilmiştir. 1976-2018 yılı verisine sahip olan 54158 istasyonunda 2000 yılına kadar kurak bir dönem görülmemiştir. Ancak 2000 yılından sonraki dönemler kuraklığın son yıllara kadar artarak derinleştiğini göstermektedir. Sunulan 3, 12 ve 36 aylık üç ayrı periyotta benzer ilerlemeler izlenmektedir. 2008 yılından itibaren orta şiddette kurak, 2014 yılından itibaren şiddetli kuraklık gözlenmiştir.



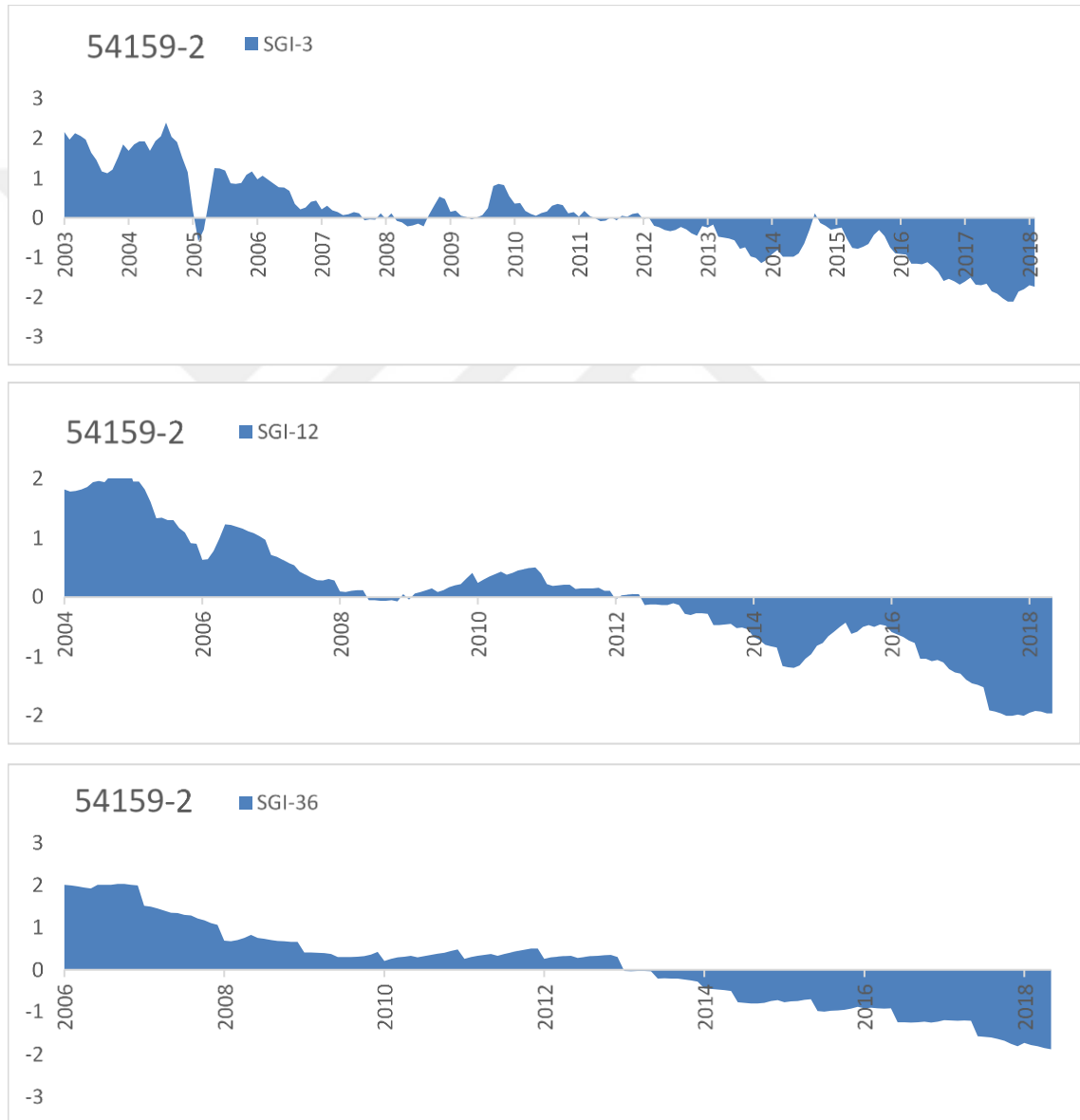
Şekil 3.49. Develi-54158 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Develi alt havzasında yer alan diğer istasyon 54159 istasyonudur. Bu istasyonda veriler 1967-2018 döneminde kayıtları vardır ancak 1992-2003 döneminde veri kaydı bulunmamaktadır. Bu yüzden istasyonda 1967-1992 dönemi ile 2003-2018 dönemi ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilmiştir. 54159-1 ile verilen 1967-1992 dönemine ait analiz sonuçlarıdır. Şekil 3.50’de 54159 istasyonunda SGI analizleri ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. İstasyonda 1978’den itibaren kuraklığa doğru geçiş evresi gözlenmiştir. 1979 yılında orta şiddette kurak olan istasyon hafif şiddetli kuraklık etkisinde 1992 yılına kadar dalgalı seyrini sürdürmüştür.



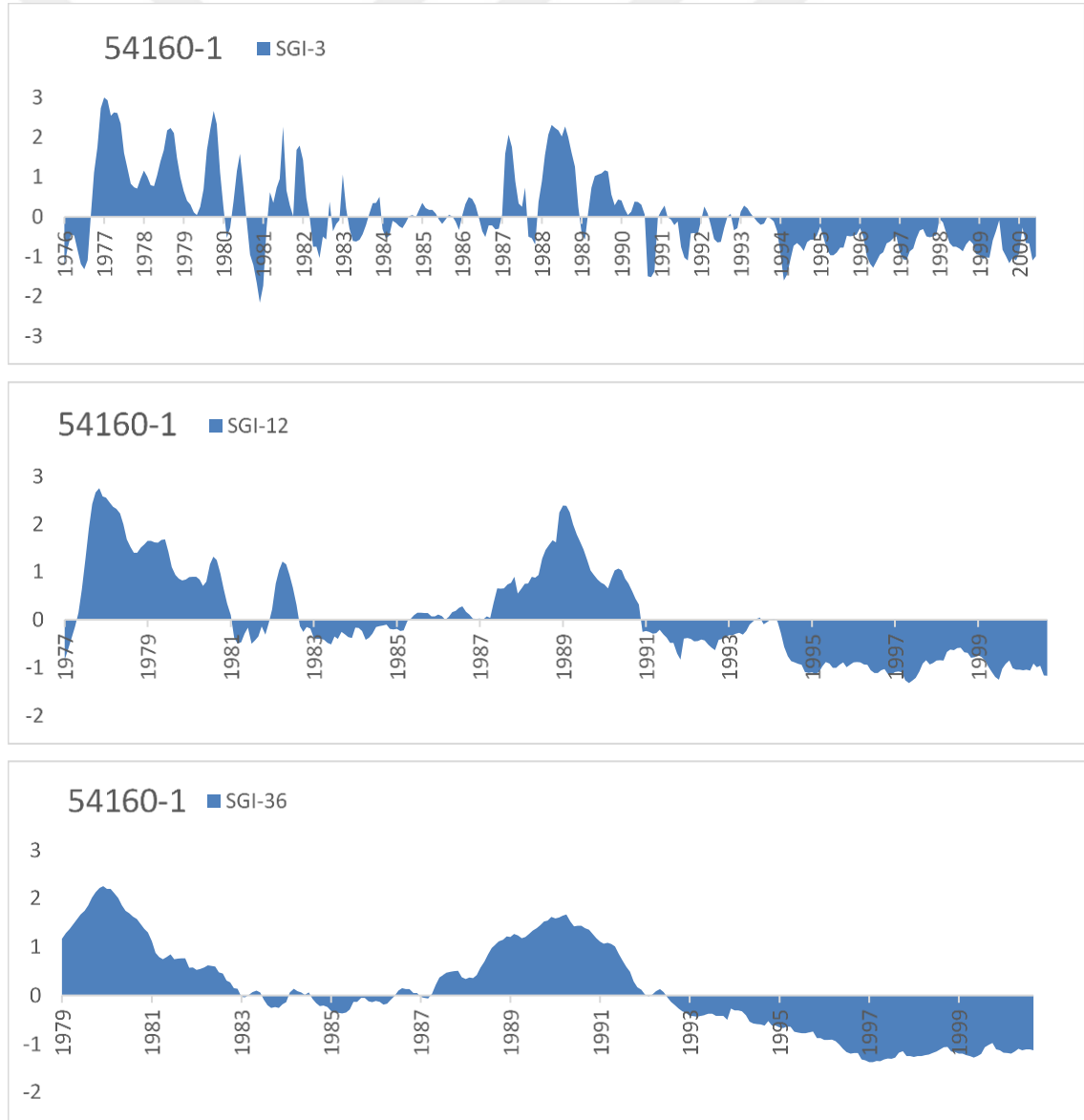
Şekil 3.50. Develi-54159-1 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

54159 istasyonuna ait ikinci dönem analizleri sonuçları Şekil 3.51’de verilmiştir. 2003-2018 dönemini kapsayan 54159-2 analizinde 2008 yılından itibaren kuraklığa doğru bir geçiş olduğu görülse de 2012 yılından itibaren azalma başlamıştır. 2014 yılında orta şiddetli kurak 9 aylık bir dönem izlenmiş ve 2016 yılında normal seviyeye yaklaşmıştır. 2016 sonbaharından itibaren orta şiddetli kuraklık ve 2018 yılından itibaren kuraklık artarak aşırı şiddetli kuraklık gözlenmiştir.



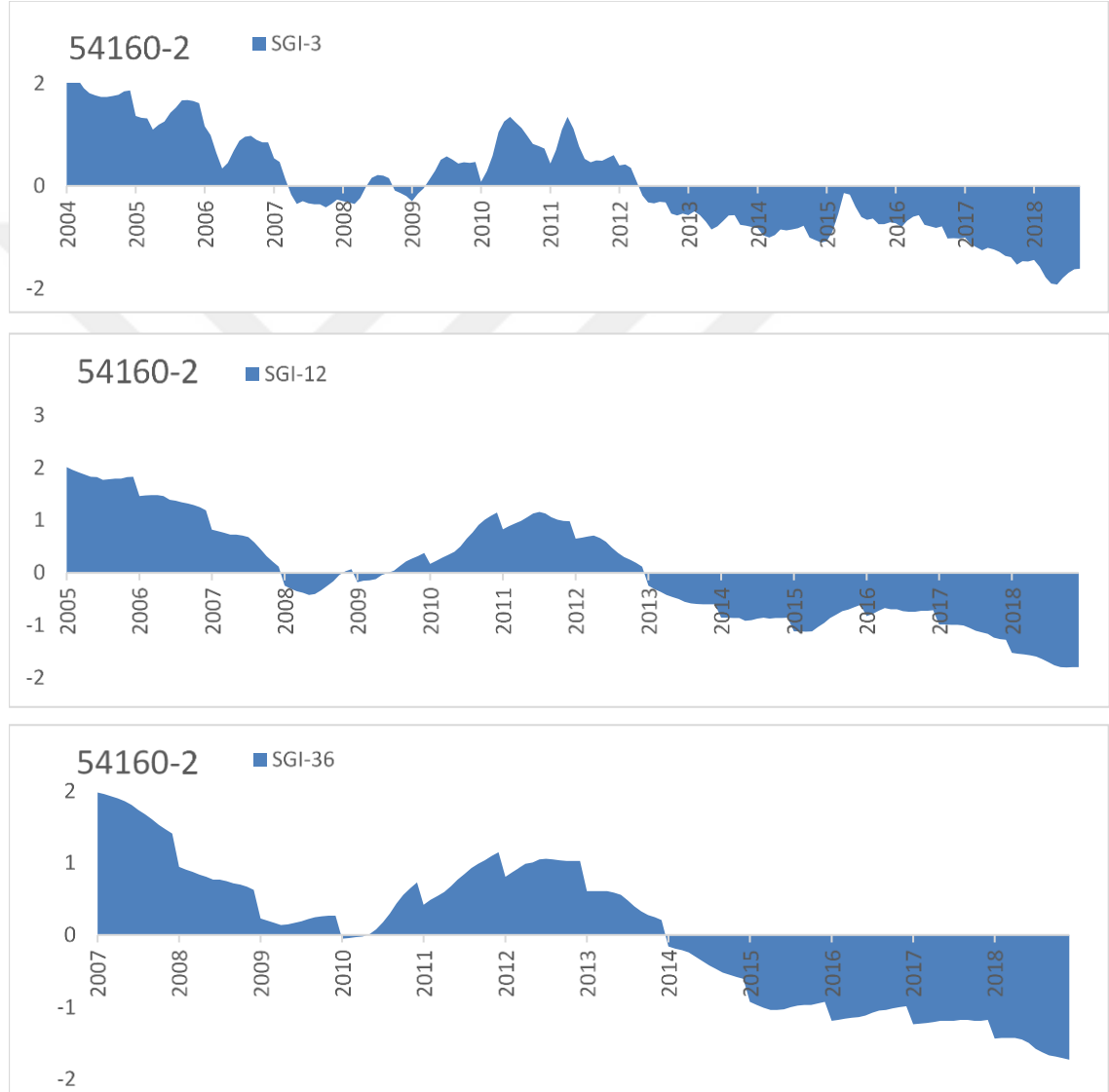
Şekil 3.51. Develi-54159 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Develi alt havzasında yer alan diğer istasyon 54160 istasyonudur. Bu istasyonda 1976-2018 döneminde seviye kayıtları vardır ancak 2001-2004 döneminde veri kaydı bulunmamaktadır. Bu yüzden istasyonda 1976-2001 dönemi ile 2004-2018 dönemi ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilmiştir. 54160-1 ile verilen 1976-2001 dönemine ait analiz sonuçlarıdır. Şekil 3.52’de 54160 istasyonunda SGI analiz sonuçları verilmiştir. 1976-1977 dönemi hafif kuraklığın görüldüğü istasyonda 1981’de 3 aylık analizlerde Aşırı kuraklık görülmüştür. 1983-1987 döneminde normal ile hafif şiddetli kuraklık arasında seyreden sonuçlar 1991 yılına kadar sulak evrede yer almıştır. 1991 yılından itibaren kurak evreye geçiş gözlenmiş ve kuraklığın 1994 yılından itibaren derinleştiği ve 1997 yılında şiddetli kurak seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.52. Develi-54160 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

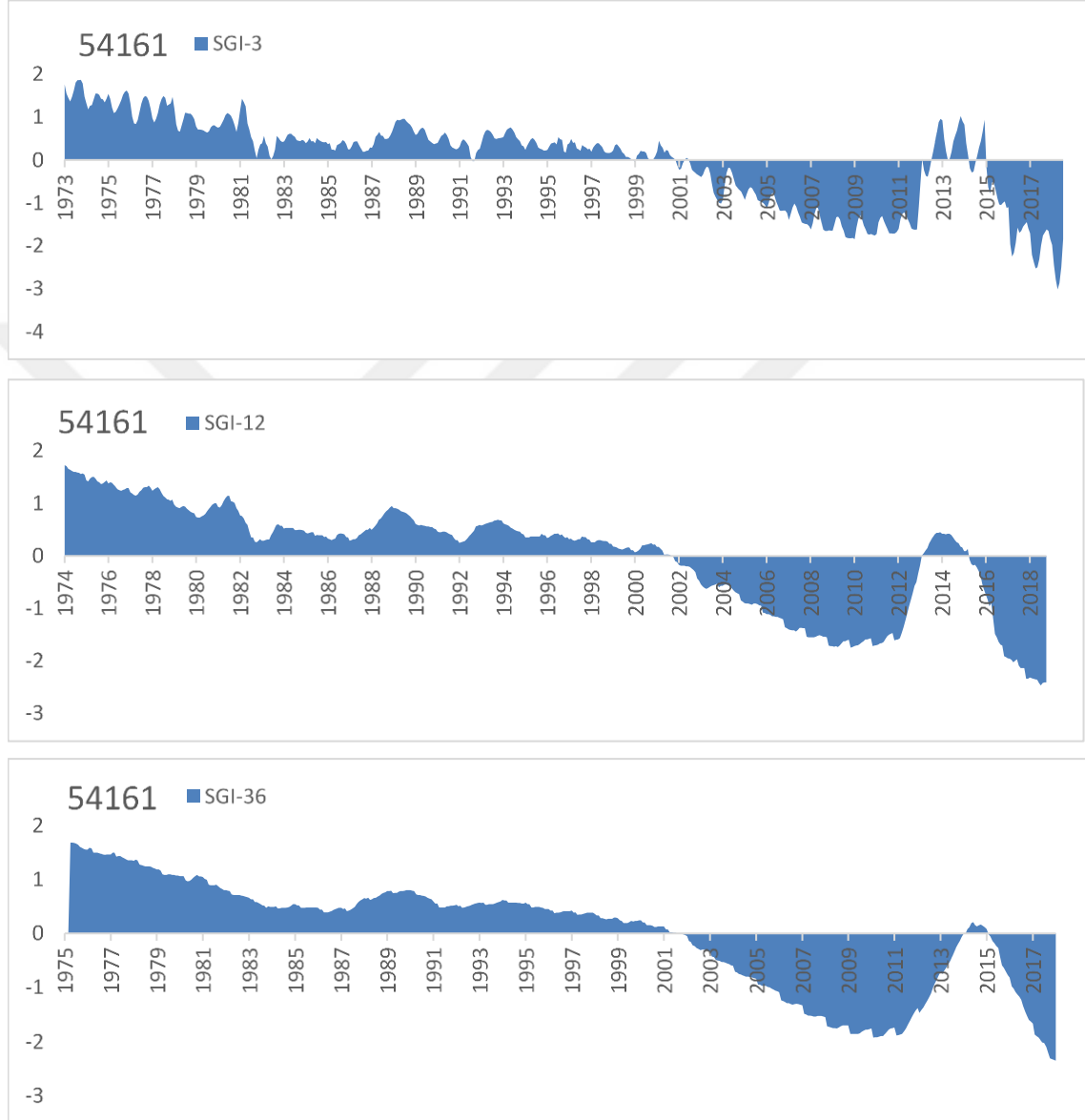
2004 yılından itibaren yapılan ikinci dönem analizinde 2008-2010 döneminde normal ile hafif kuraklık arası gözlenen dalgalanma ile kendini göstermiştir. 2013 yılına kadar gözlenen sulak dönemin ardından kuraklık derinleşmiştir. 2013-2014 döneminde hafif başlayan kuraklık artarak 2018 yılında şiddetli kuraklık seviyesine ulaşmıştır. Şekil 3.53'te 2004-2018 yılına ait analizler sunulmuştur.



Şekil 3.53. Develi-54160 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Develi alt havzasında yer alan 54161 istasyonunda veri aralığı 1973-2018 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 3.54'te gösterilen sonuçlara göre 1973-2002 yılları arasında kuraklık gözlenmemiştir. Ancak 2002 yılında hafif başlayan kuraklık 2008-2013 periyodunda şiddetli kuraklık seviyesine ulaşmış ve 57 ay boyunca şiddetli kuraklık

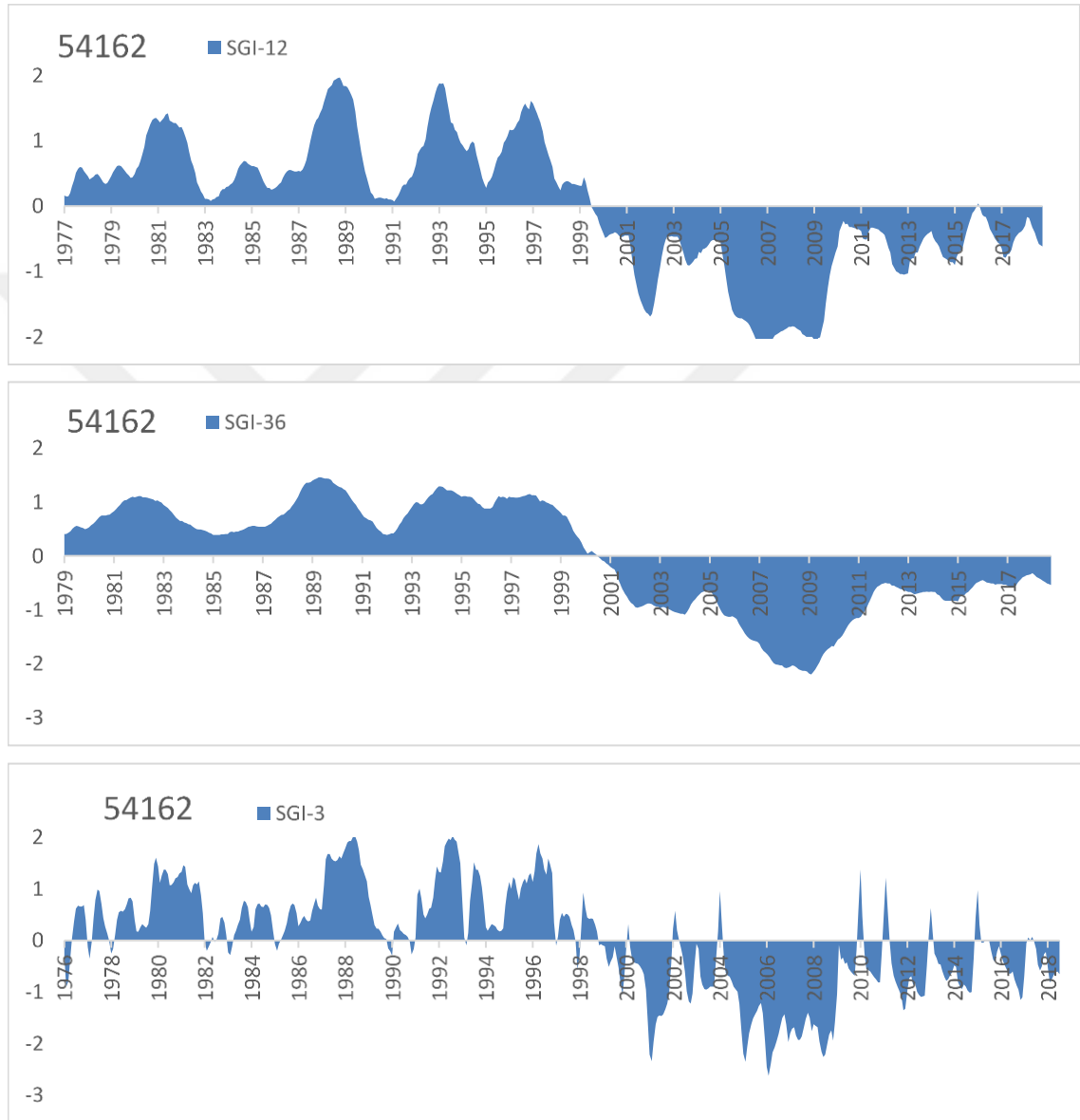
hâkim olmuştur. 2013-2014 döneminde normal seviyelere ulaşılırken 2014 ‘ten itibaren kuraklıkta artış gözlenmiştir. Kuraklık 2016 yılında orta şiddetli, 2017’de şiddetli ve 2018’de aşırı kurak seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 3.54. Develi-54161 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Develi alt havzasında yer alan 54162 istasyonunda veri aralığı 1976-2018 yıllarını kapsamaktadır. Şekil 3.55’te gösterilen sonuçlara göre 1976-2000 yılları arasında kuraklık gözlenmemiştir. 2000 yılında hafif başlayan kuraklık 2001-2003 döneminde şiddetli kuraklığa kadar yükselmiş, 2003-2005 döneminde azalarak hafif ve orta kuraklıklara çekilmiştir. 2005-2009 döneminde ise uzun süreli aşırı kuraklığa ulaşan kuraklıklar görülmüştür. Yıllık analizde 2005 yılı sonbaharından itibaren 12 aylık

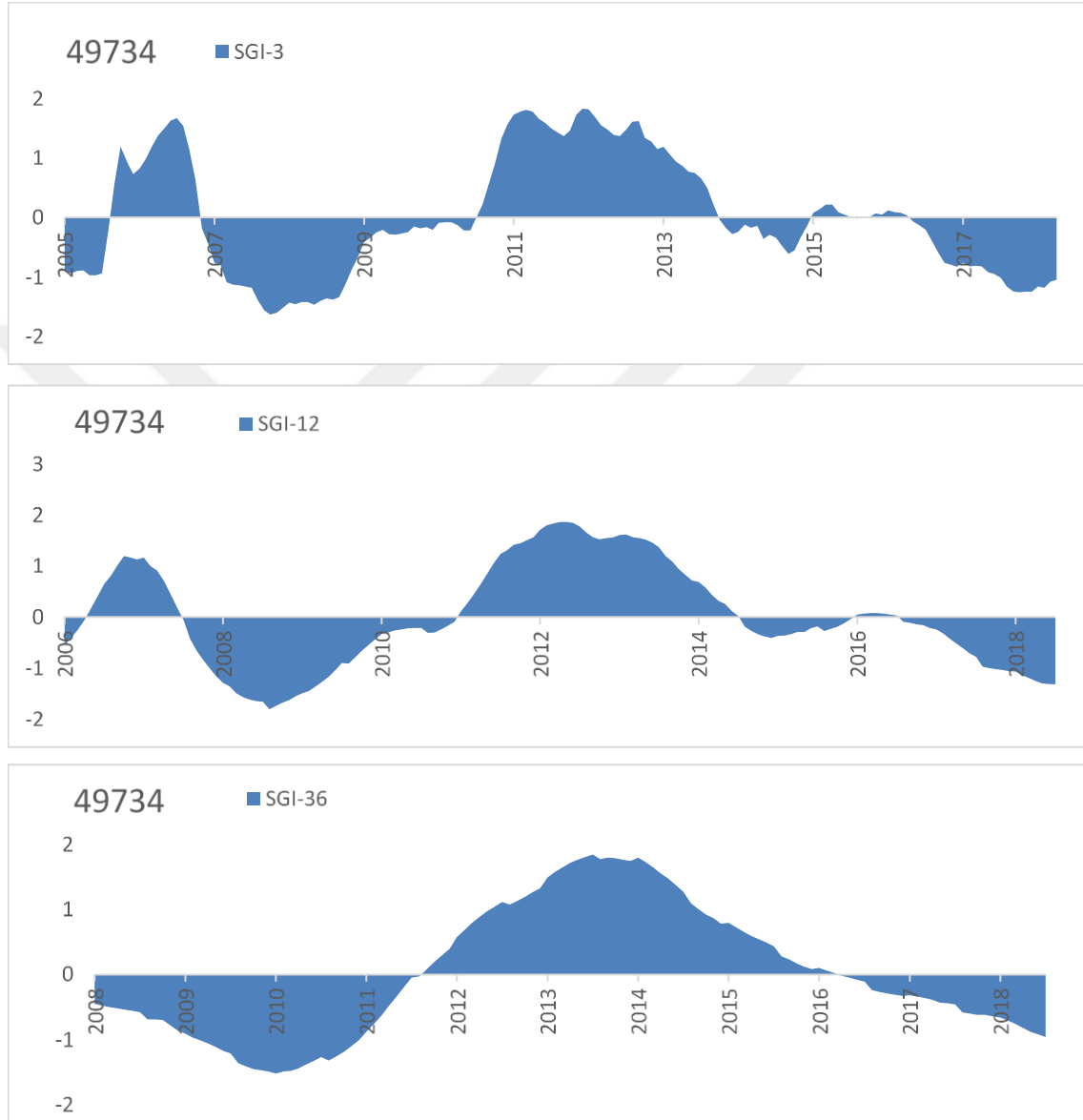
şiddetli kuraklığın ardından 12 aylık aşırı kurak bir dönem izlenmiştir. Sonraki dönem hem şiddetli hem de aşırı kuraklığın gözlemlendiği 2 yıllık kurak periyot görülmüştür. 2009 yılından sonra şiddeti azalsa da orta ve hafif şiddetli kuraklık dalgaları 2018 yılına kadar devam etmiştir.



Şekil 3.55. Develi-54162 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

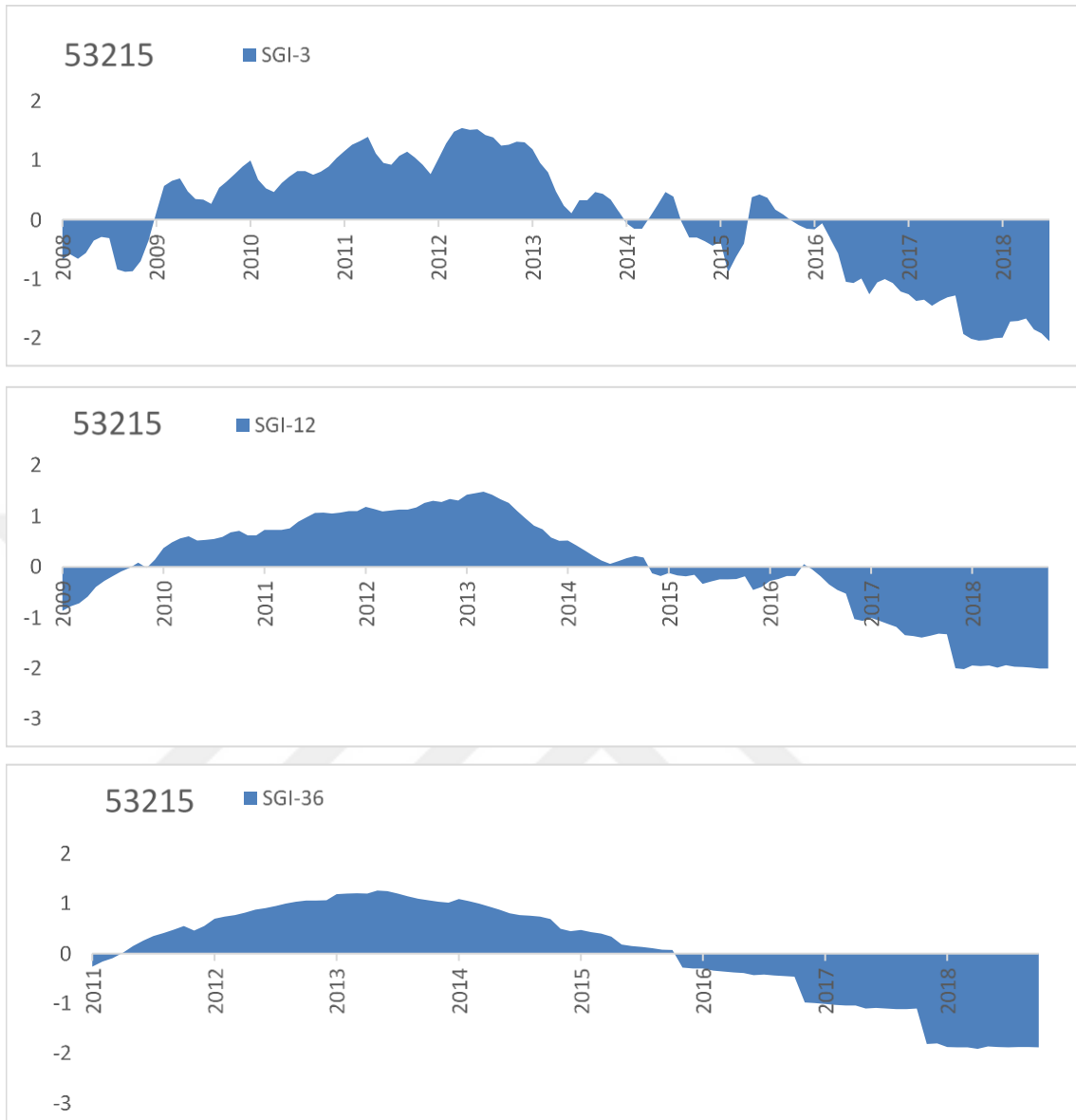
Kırşehir alt havzasına ait istasyonlardan 49734 istasyonunda veri aralığı 2005-2018 dönemini kapsamaktadır. SGI analizleri sonuçları Şekil 3.56'da verilmiştir. 2005 yılında hafif şiddetli kuraklık gözlenirken 2007-2010 döneminde gözlenen kuraklıklar 2008 yılında orta ve şiddetli kuraklığa kadar ulaşmıştır. 2011-2014 döneminde sulak bir

periyot hâkim olurken, 2014-2016 döneminde normal seviye çevresinde hafif bir dalgalanma gözlenmiştir. 2016 yılının sonlarına doğru hafif şiddetli kuraklık görülürken 2017’den sonra artarak orta şiddetli kuraklığa ulaşmıştır.



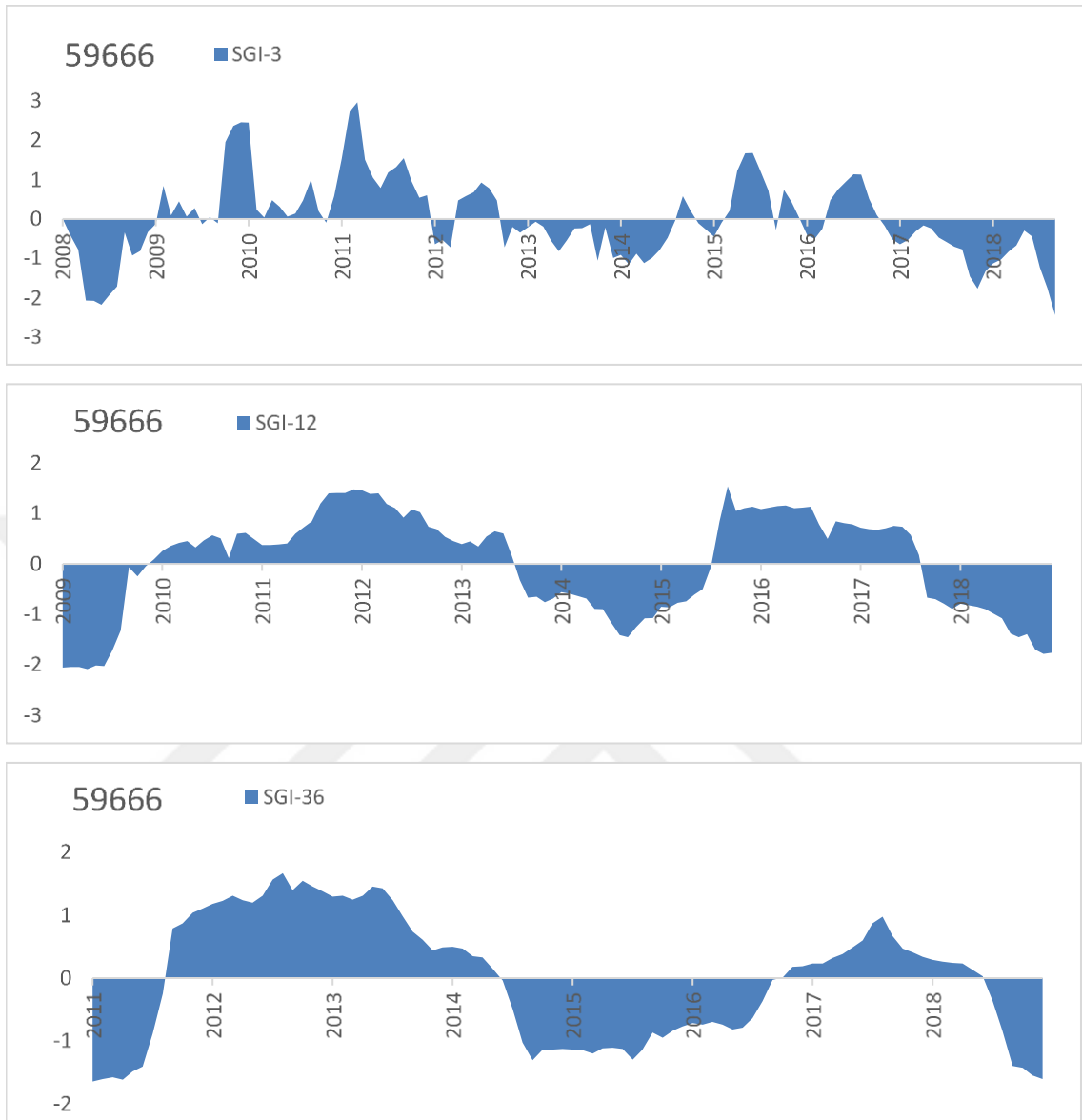
Şekil 3. 56 Kırşehir-49734 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Kırşehir alt havzasına ait istasyonlardan 53215 istasyonunda veri aralığı 2008-2018 dönemini kapsamaktadır. SGI analizleri sonuçları Şekil 3.57’de verilmiştir. 2008-2009 döneminde hafif kuraklık gözlenmiş ve 2010-2015 döneminde sulak değerler gözlenmiştir. 2016 yılında normal değerlerden uzaklaşmaya başlayan kuraklık şiddeti 2017 yılında şiddetli ve aşırı kuraklık değerlerine ulaşmıştır.



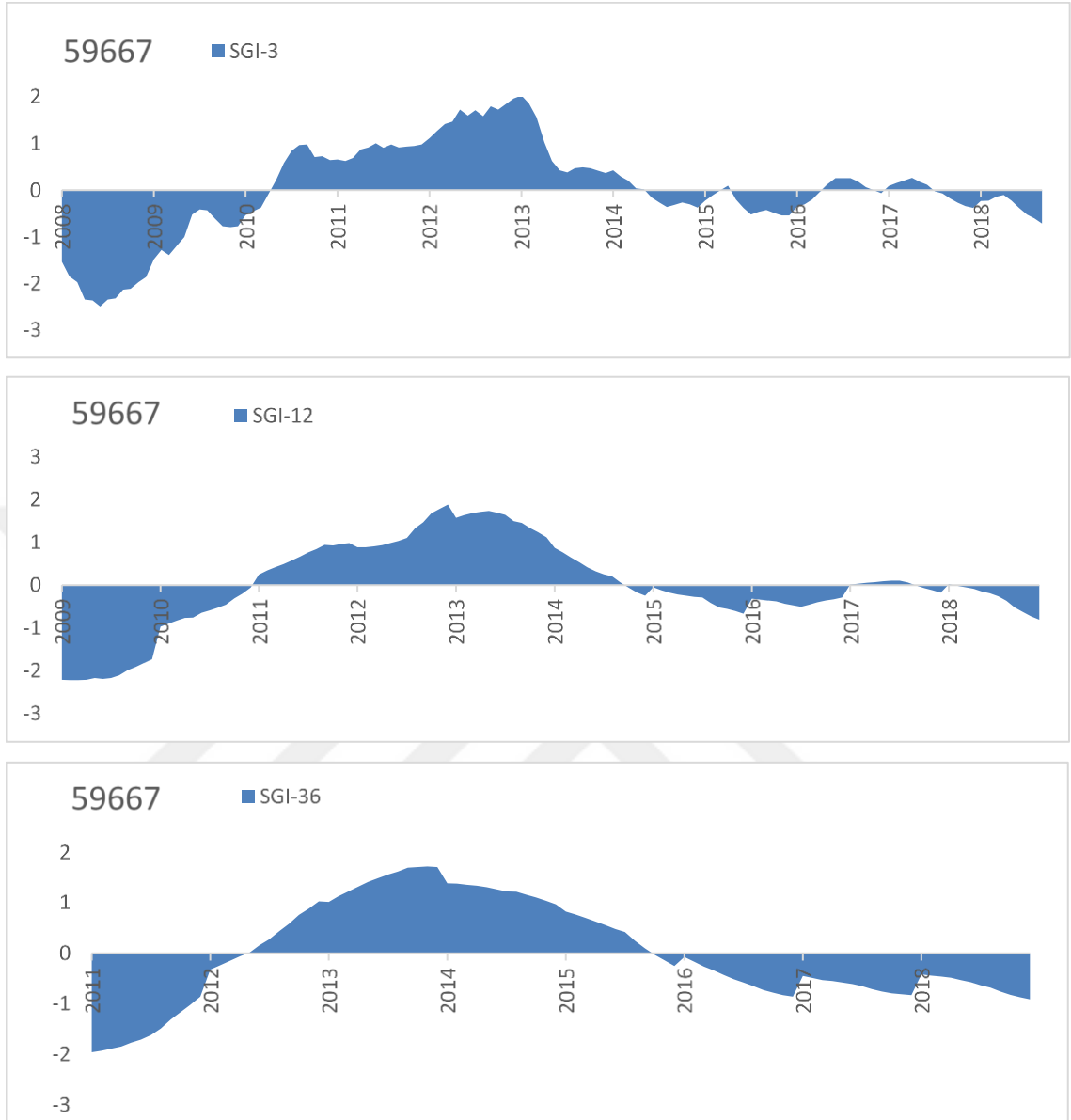
Şekil 3.57. Kırşehir-53215 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Boğazlıyan alt havzasında yer alan 59666 istasyonunda veri aralığı 2008-2018 dönemini kapsamaktadır. SGI analizleri sonuçları Şekil 3.58’de verilmiştir. 2008-2010 döneminde özellikle 3 ve 12 aylık periyotta 6 aylık bir dönemde aşırı kuraklık gözlenmiş ardından 2011-2013 döneminde sulak bir evre bu kurak periyodu izlemiştir. 2013-2016 döneminde hafif başlayan kuraklık orta şiddette kuraklığa ulaşmıştır. 2018 yılında orta ve şiddetli kuraklıklar tespit edilmiştir.



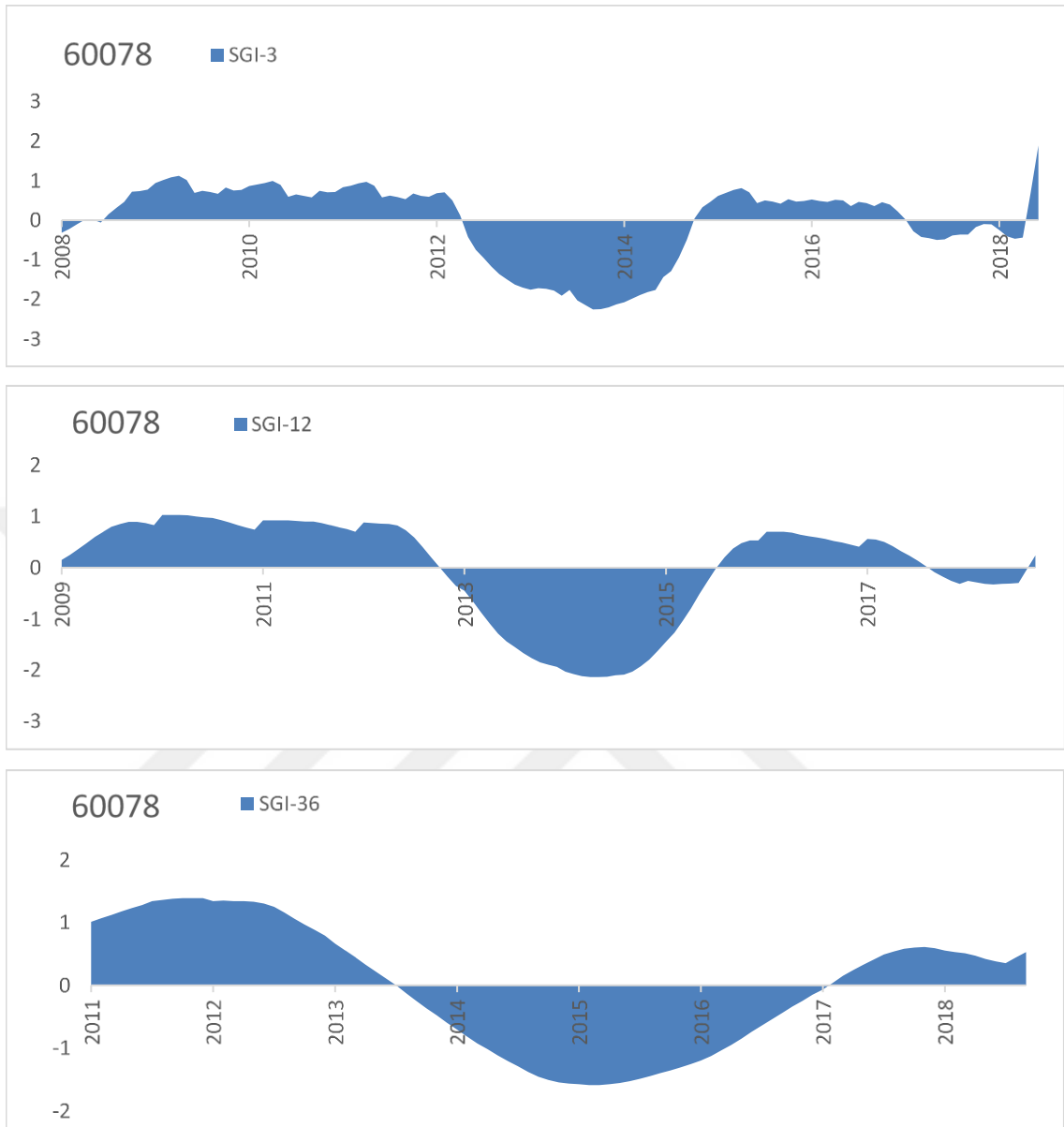
Şekil 3.58. Boğazlıyan-59666 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Boğazlıyan alt havzasında yer alan 59667 istasyonunda veri aralığı 2008-2018 dönemini kapsamaktadır. SGI analizleri sonuçları Şekil 3.59’da verilmiştir. 2008-2011 döneminde aşırı kurak geçen 9 aylık bir dönem bulunmaktadır. Ardından gelen dönemlerde 2011-2015 döneminde kuraklık gözlenmemiştir. 2015-2018 döneminde aralıklarla hafif şiddetli kuraklıklar gözlenmiştir.



Şekil 3.59. Boğazlıyan-59667 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

Boğazlıyan alt havzasında yer alan 60078 istasyonunda veri aralığı 2008-2018 dönemini kapsamaktadır. SGI analizleri sonuçları Şekil 3.60'ta verilmiştir. 2008-2013 döneminde kuraklık görülmemiştir. 2013-2016 dönemi aşırı kuraklığa varan kuraklıklar gözlenmiştir. Sonraki yıllarda normal seviyelerde gözlenen değerler kuraklık ifade etmemiş ancak normal seviyenin biraz üzerinde seyretmiştir.



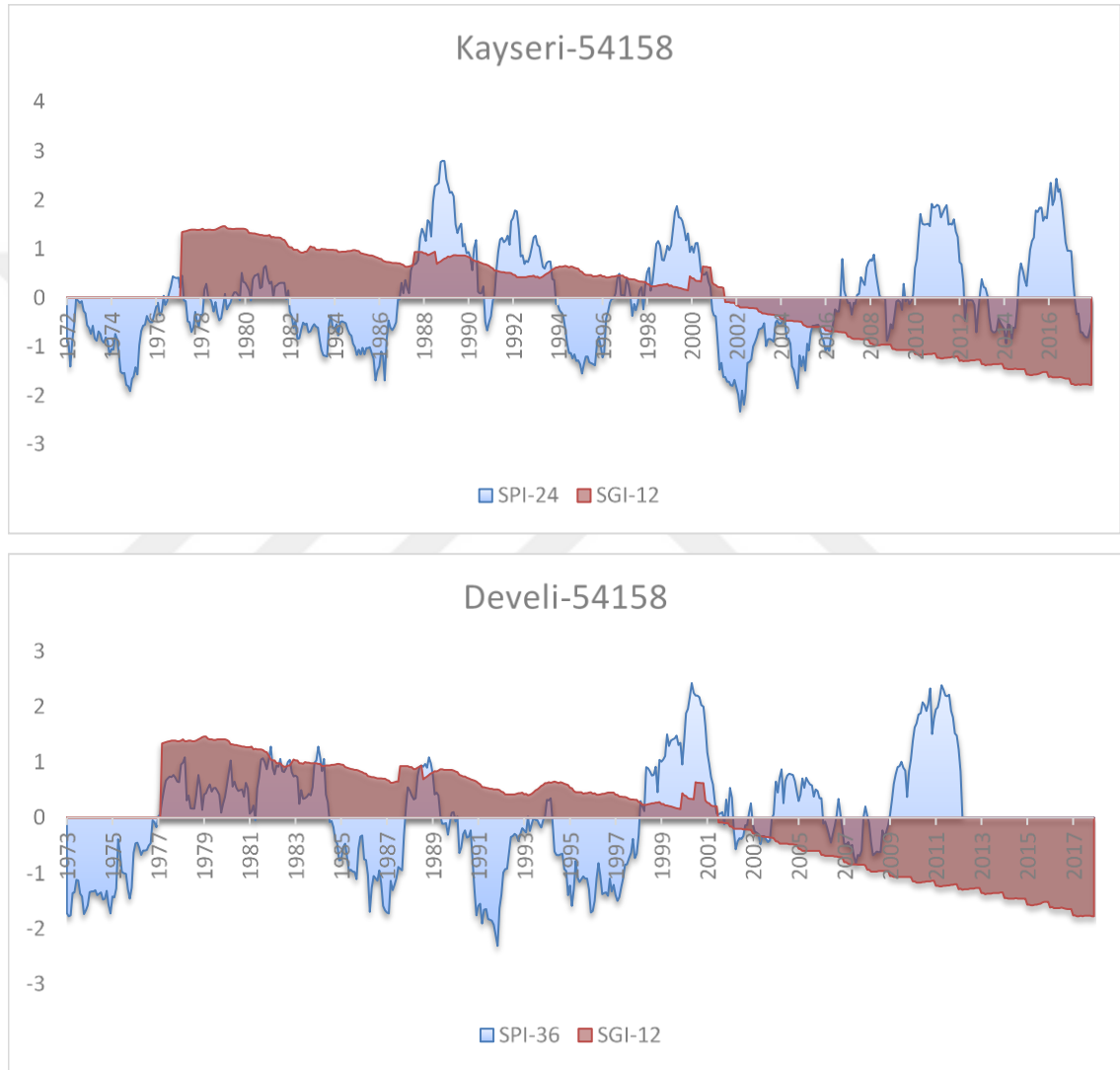
Şekil 3.60. Boğazlıyan-60078 istasyonuna ait 3, 12 ve 36 aylık SGI analizi sonuçları

3.5.6. Standart Yağış İndisi(SPI) İle Standart Yeraltı Suyu İndisi(SGI) Arasındaki Uyum

Yapılan kuraklık analizlerinde yağış, buharlaşma, akış, yeraltı suyu parametreleri kullanılarak farklı periyotlarda hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar ayrı ayrı verilmiş olup bu bölümde yağışlarda gözlenen kuraklıkların yeraltı suyu ile akışlar varlığını gözlemlemek amacıyla kıyaslama yapılmıştır.

Akım ve Yeraltı suyu istasyon verilerinin daha sınırlı olması sebebiyle kıyaslamalarda yeraltı suyu ve akım istasyonlarına göre sonuçlar birleştirilmiştir.

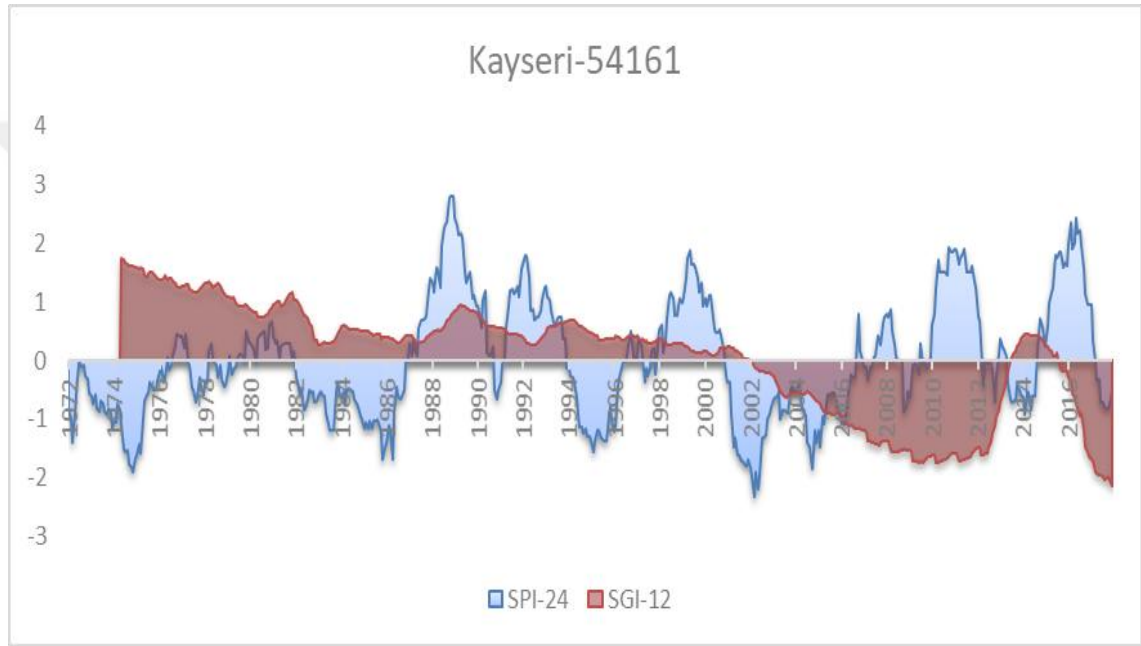
Develi’de bulunan yeraltı suyu kuyuları en yakın istasyon olan Kayseri ve Develi istasyonlarına ait SPI sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.61. Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54158 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Şekil 3.61’de görüldüğü üzere yeraltı suyu değerleri 1978 yılından itibaren bir azalma göstermiş ve SPI sonuçlarına bakıldığında 1972-1977 döneminde gözlenen şiddetli kuraklığın ardından azalmanın devam ettiği görülmüştür. SPI’ a göre 1982-1986 döneminde gözlenen uzun süreli kuraklığın yine yeraltı suyunda azalma ile paralel ilerlediği ve 1987-1990 döneminde sulak olarak geçen yılların SGI değerlerinde az da

olsa bir yükselme sağladığı görülmüştür. 1994-1996 döneminde gözlenen uzun süreli yoğunlukla orta şiddetli kuraklığın yeraltı su seviyelerinde 1995 yılından itibaren azalmalara sebep olduğu görülmüştür. 1998-2000 döneminde sulak geçen dönem etkisi 2000-2001 yıllarında SGI değerlerinde artışlarla izlenmiştir. 2001-2007 döneminde gözlenen ve aşırı şiddetli kuraklığın hâkim olduğu yıllarda SGI değerleri kurak seviyelere doğru ilerlemiş ve sonradan gözlenen sulak dönemlerin yeraltı suyu kuraklığında şiddetin artmasına engel olamamıştır.

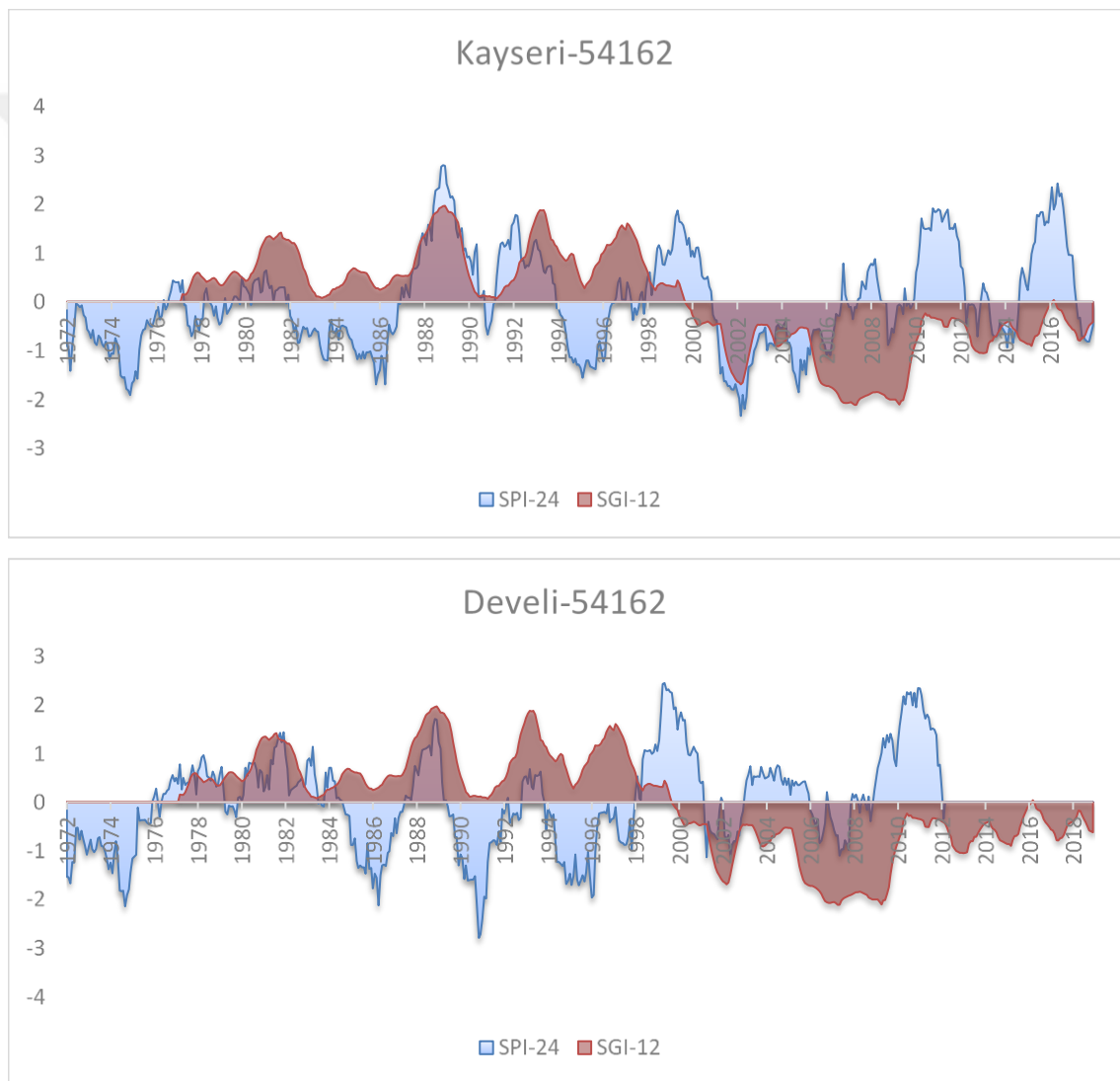


Şekil 3.62. Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54161 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Kayseri ve Develi istasyonlarına ait SPI sonuçları ile 54161 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.62’de verilmiştir. Grafikte izlenen 1972-1976 döneminde şiddetli kuraklığın ardından SGI değerlerinde azalmalar 1978 yılına kadar devam etmiştir. ardından gelen dönemde hafif yükselmeler SPI’da sulak dönemlere rastlasa da azalmaların 1988 yılına kadar devam ettiği görülmektedir. 1988-2000 sulak olarak gözlenen dönemde SGI değerinde yükselmeler meydana gelmiş, ancak 2000 yılından itibaren SGI seviyeleri normal seviyeden hafif kurak seviyeye geçmiştir. Burada SPI’da gözlenen şiddetli ve aşırı kurak dönemlerin etkili olduğu düşünülmektedir. 2002-2006 döneminde gözlenen aşırı kuraklıkların SGI değerlerinde kuraklığın artışı hızlandırdığı ve 2010-2011 aralığında maksimum seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. SPI’da 2010-2012 periyodunda gözlenen aşırı sulak dönem ile 2013 yılında SGI değerleri

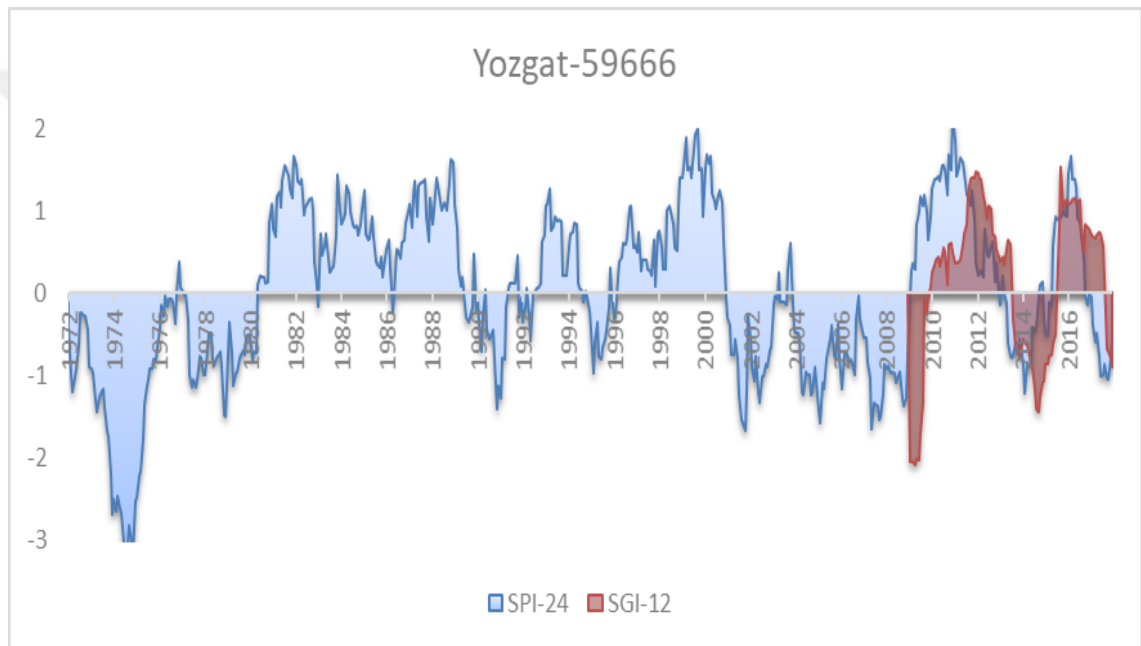
normal seviyeler kısa süreli dönüş gösterse de 2015 yılından sonra yeniden şiddetli kurak olarak kaydedilmiştir.

Develi istasyonunda 1972-1975 dönemi kuraklığı ile SGI değerlerinin azalmaya başladığı ve sonraki dönemde SPI değerlerinde hafif ve kısa süreli sulak dönemlerin SGI değerlerinde yükselmelerle benzeştiği görülmüştür. 1990'dan sonra gelen kurak dönemlerin azalmalarla paralel olduğu ancak sonraki yıllarda gözlenen sulak dönemlerde SGI değerlerinin azalmaya devam ettiği izlenmiştir.



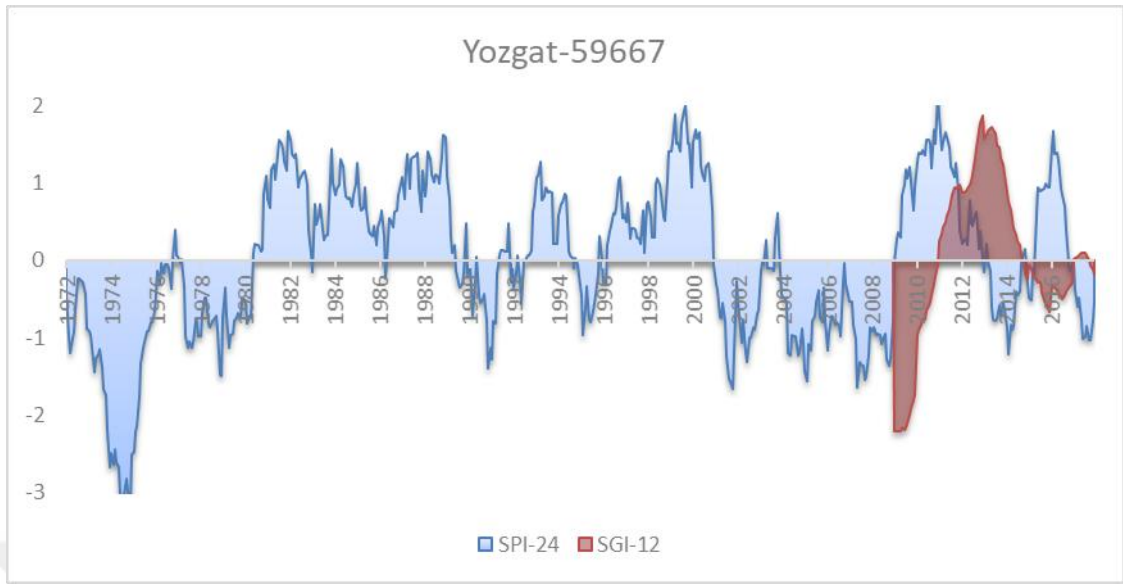
Şekil 3.63. Kayseri istasyonuna ait SPI sonuçları ve Develi 54162 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Kayseri ve Develi istasyonlarına ait SPI sonuçları ile 54162 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.63'te verilmiştir. 54162 yeraltı suyu kuyusunda 1988-1994 döneminde gözlenen sulak evreler benzer şekilde hareket etmiştir. 1995 yılında yağışlarda geçen hafif şiddetli kuraklık döneminde SGI değerlerinde şiddetli azalma ile çakışmaktadır. Ancak 2000 yılında başlayan kurak dönemde şiddetin ve sürenin arttığı ve SPI değerlerinde gözlenen kurak değerlerin SGI değerleri ile aynı şekilde ilerlediği görülmüştür. SPI'da 2001-2006 döneminde yoğunluklu hafif olan kuraklık ve SGI değerlerinde 2005-2010 aralığında şiddetli ve aşırı kuraklık gözlenmiştir.



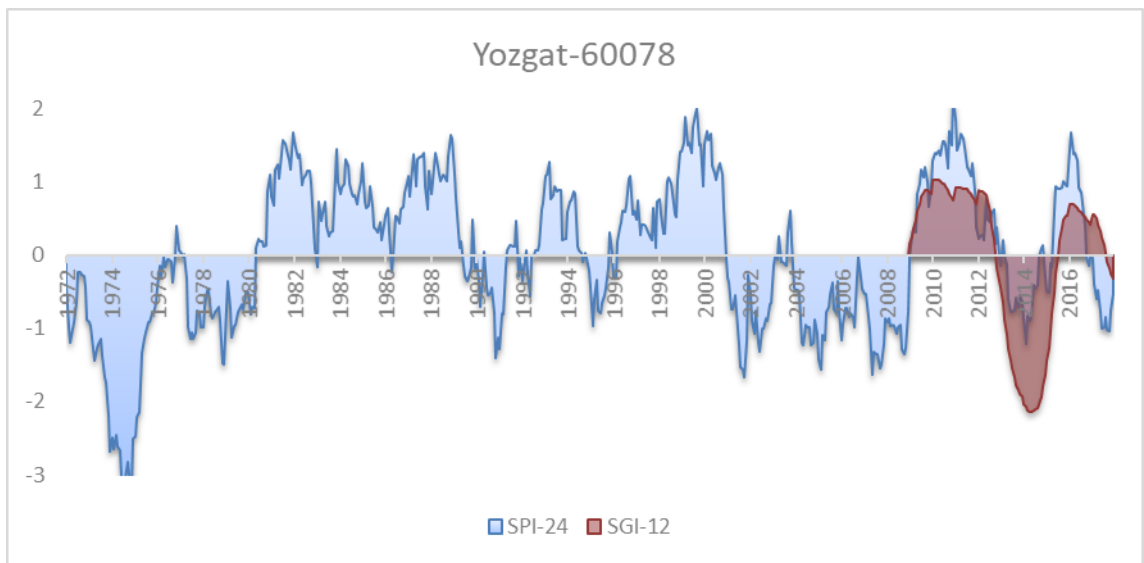
Şekil 3.64. Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 59666 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ile 59666 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.64'te verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2002-2010 döneminde gözlenen uzun süreli hafif ve orta şiddetli kuraklıkların ardından SGI değerlerinin 2009-2010 yıllarında şiddetli kuraklığa ulaştığı görülmüştür. SPI sonuçlarında kuraklığın ardından gelen 2009-2013 sulak dönemi SGI değerlerinde 2010-2013 yıllarında gözlenmiştir. 2013-2015 dönemi her iki analizde de hafif ve orta şiddette kurak olurken 2016-2018 döneminde önce sulak ardından kurak dönemler birbirine eşlik etmiştir.



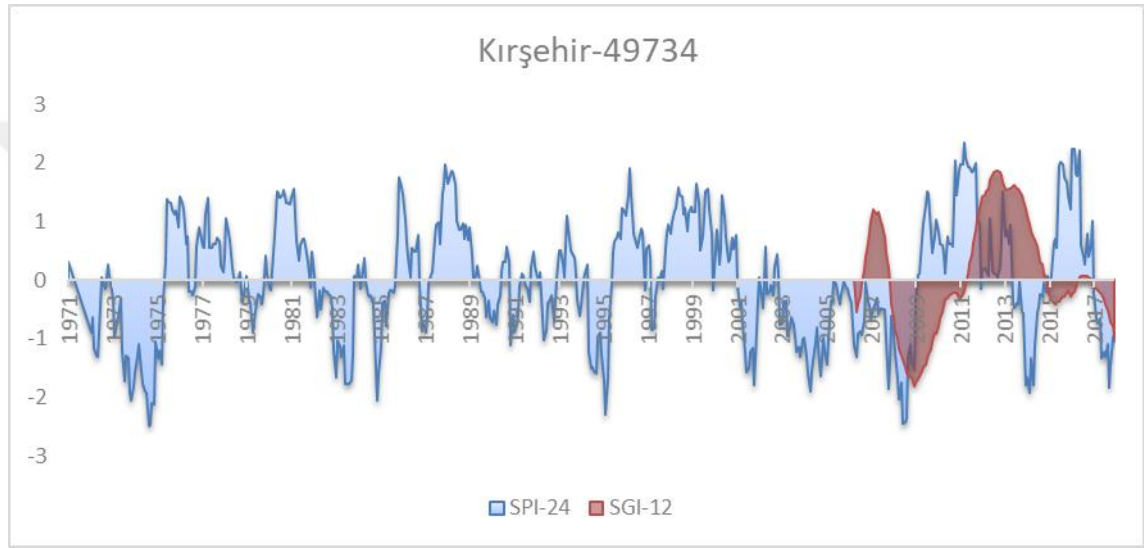
Şekil 3.65. Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 59667 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ile 59667 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.65'te verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2002-2009 döneminde gözlenen uzun süreli hafif ve orta şiddetli kuraklıkların ardından SGI değerlerinin 2009-2011 yıllarında şiddetli ve aşırı kuraklığa ulaştığı görülmüştür. SPI sonuçlarında 2009-2013 aralığında, SGI sonuçlarında 2011-2014 aralığında sulak dönemler izlenmiştir. 2015-2017 dönemi SPI için sulak evrelerde, SGI için hafif kurak evrelerde görülmüştür.



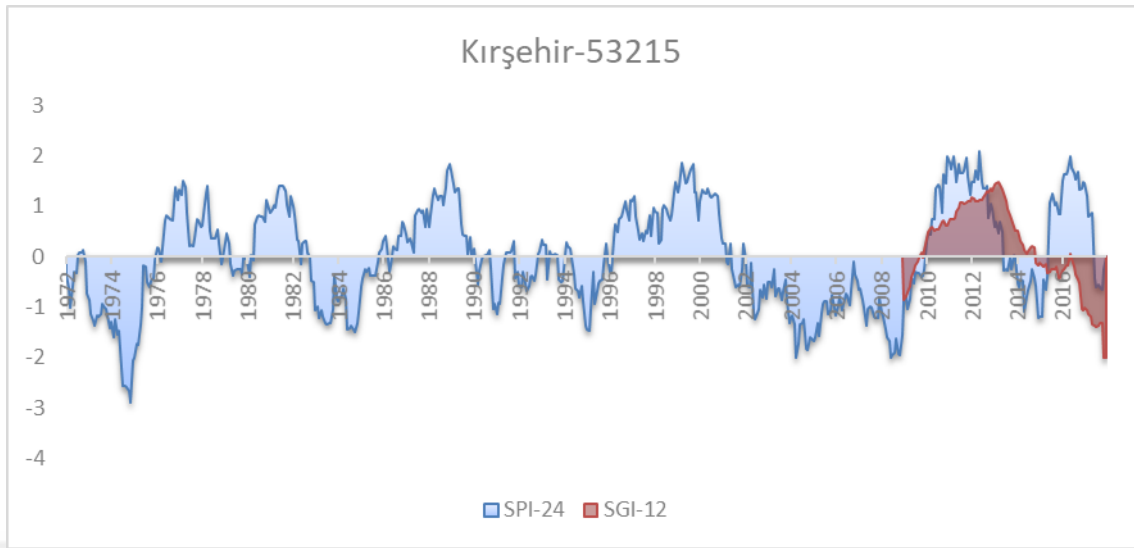
Şekil 3.66. Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ve Boğazlıyan 60078 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Yozgat istasyonuna ait SPI sonuçları ile 60078 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.66'da verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2002-2009 döneminde gözlenen uzun süreli hafif ve orta şiddetli kuraklıkların ardından SGI değerlerinin sıfıra yakın bir değerden başlayarak 2009-2013 döneminde SPI ile sulak döneme geçtiği görülmüştür. SPI'da 2013-2015 dönemi hafif kurak iken, SGI'da bu dönem aşırı kurak değerlere kadar ulaşmıştır. 2015 sonrasında hem SGI değerleri hem de SPI değerleri nümerik olarak farklı olmakla birlikte sulak olarak izlenmiştir.



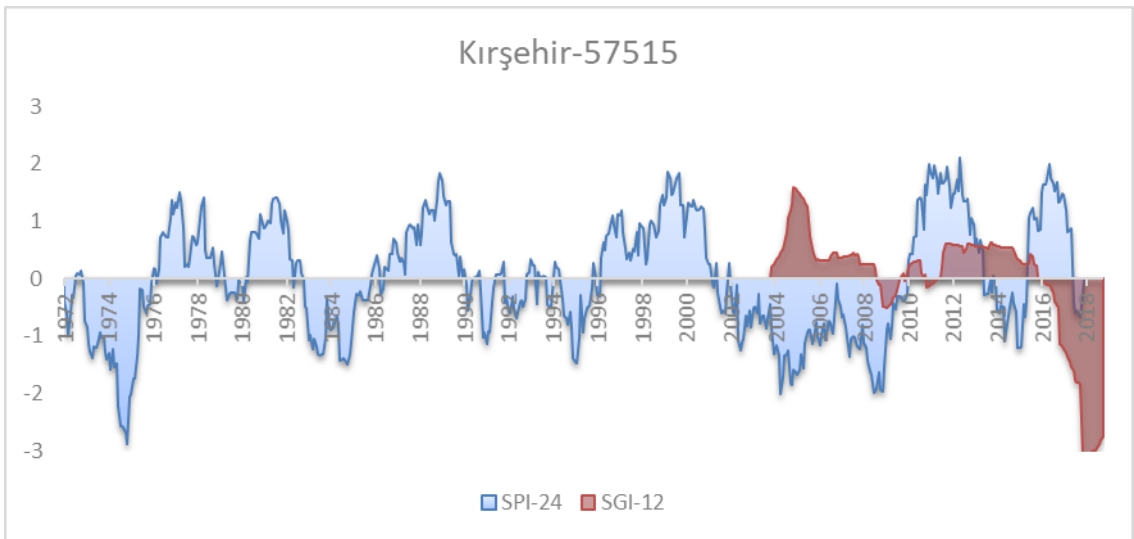
Şekil 3.67. Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 49734 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ile 49734 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.67'de verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2001-2009 döneminde uzun süreli ve 2008 yılında aşırı şiddete ulaşan bir kuraklık gözlenmiştir. SGI sonuçlarında ise 2008-2011 döneminde aşırı kuraklık gözlenmektedir. 2009- 2013 döneminde sulak evrede olan SPI değerleri izlenirken, SGI değerleri 2011-2015 döneminde sulak evreyi göstermiştir. Ardından gelen dönemde SPI'da gözlenen 2013-2015 kuraklığı SGI'da 2015-2016 aralığında hafif kurak olarak gözlenirken 2015-2017 döneminde sulak olan SPI değerleri 2017'de SGI'da görülen kuraklıkla birlikte devam etmiştir.



Şekil 3.68. Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 53215 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

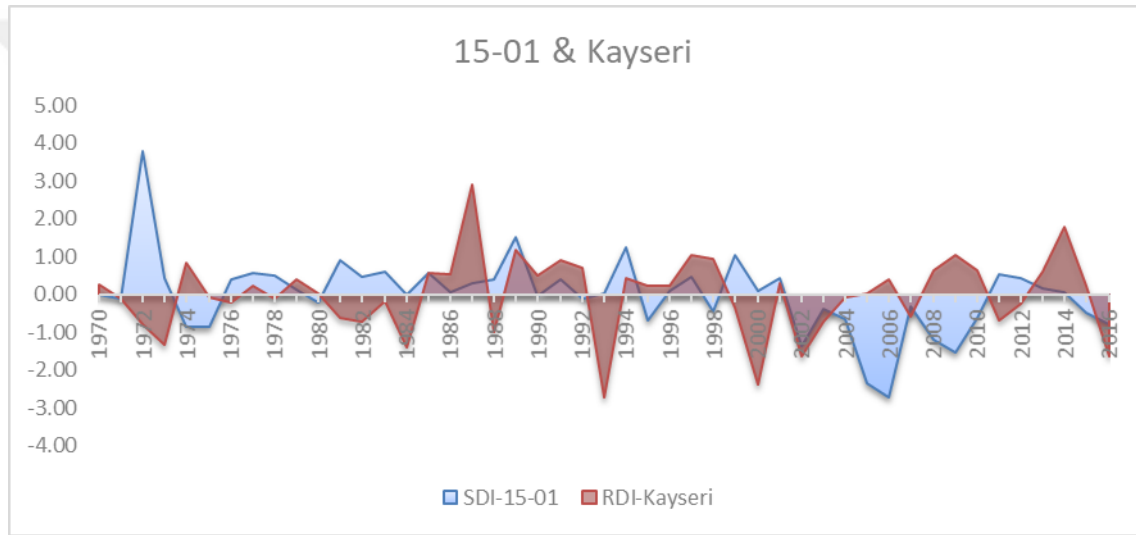
Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ile 53215 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.68’de verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2001-2010 döneminde gözlenen uzun süreli kuraklığın ardından SGI değerleri 2009 yılında kurak evrede gözlenmiştir. 2010-2013 dönemi her iki analiz sonuçlarına göre de sulak olarak gözlenirken 2014-2016’da SPI’da görülen kurak değerlerin 2015’ten itibaren SGI değerlerinin kurak olarak gözlenmesiyle devam etmiştir.



Şekil 3.69. Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ve Kırşehir 57515 istasyonuna ait SGI sonuçları kıyaslaması

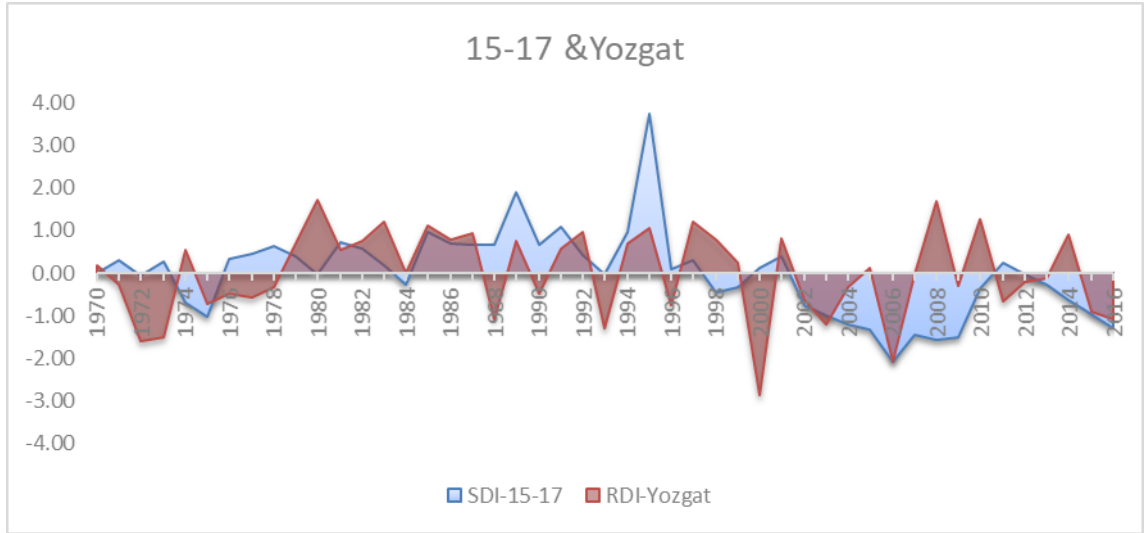
Kırşehir istasyonuna ait SPI sonuçları ile 57515 istasyonuna ait SGI sonuçları Şekil 3.69’da verilmiştir. SPI sonuçlarına göre 2002-2010 döneminde gözlenen uzun süreli ve şiddetli kuraklık SGI değerlerine 2005’ten itibaren bir azalma ile gözlenmektedir. SPI’da 2010-2013 döneminde sulak evrenin gözlenirken, SGI’da 2012-2016 döneminde sulak dönem gözlenmiştir. SPI’da kuraklığın başladığı dönemde SGI’da azalmalar gözlenmiştir.

3.5.7. Keşif Kuraklık İndisi(RDI) İle Yüzey Akışı Kuraklık İndisi(SGI) Arasındaki Uyum



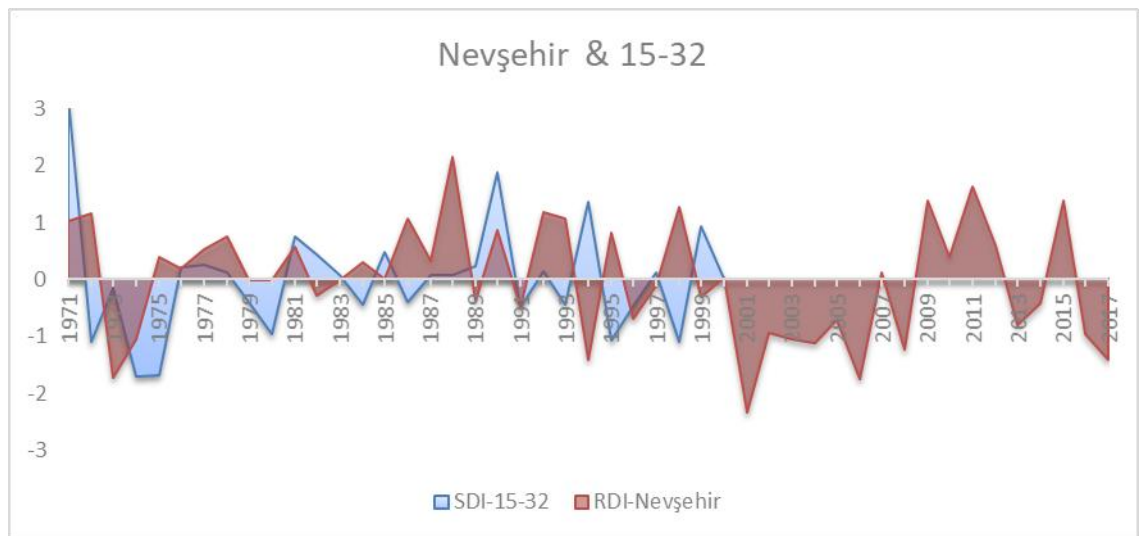
Şekil 3.70. Kayseri istasyonuna ait RDI sonuçları ve Kayseri 15-01 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

Kayseri istasyonu ile Kayseri yakınlarında yer alan 15-01 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.70’te verilmiştir. Sonuçlar 1971-1973 döneminde RDI ile gözlenen kuraklığın ardından 1973-1974 yıllarında akımlarda hafif kuraklık gözlemlendiğini göstermektedir. 1981-1984, 1993-1994 ve 2000 dönemlerinde hafif kuraklık gözlenen RDI değerleri SDI değerlerinde sulak değerlerde azalma olarak görülmüştür. 2000-2003 döneminde uzun süreli kuraklık ve 2007 yılına kadar uzayan normale yakın seviyelerde seyreden RDI değerleri SDI analizlerinde 2001’de başlayarak 2005 yılında derinleşen ve 2010 yılına kadar devam eden bir kuraklık olarak izlenmiştir. Ardından gelen hafif sulak bir seyir 2008-2010 yılında RDI değerlerinde 2011-2013 döneminde SDI değerlerinde normal ve hafif sulak değeri olarak gözlenmiştir.



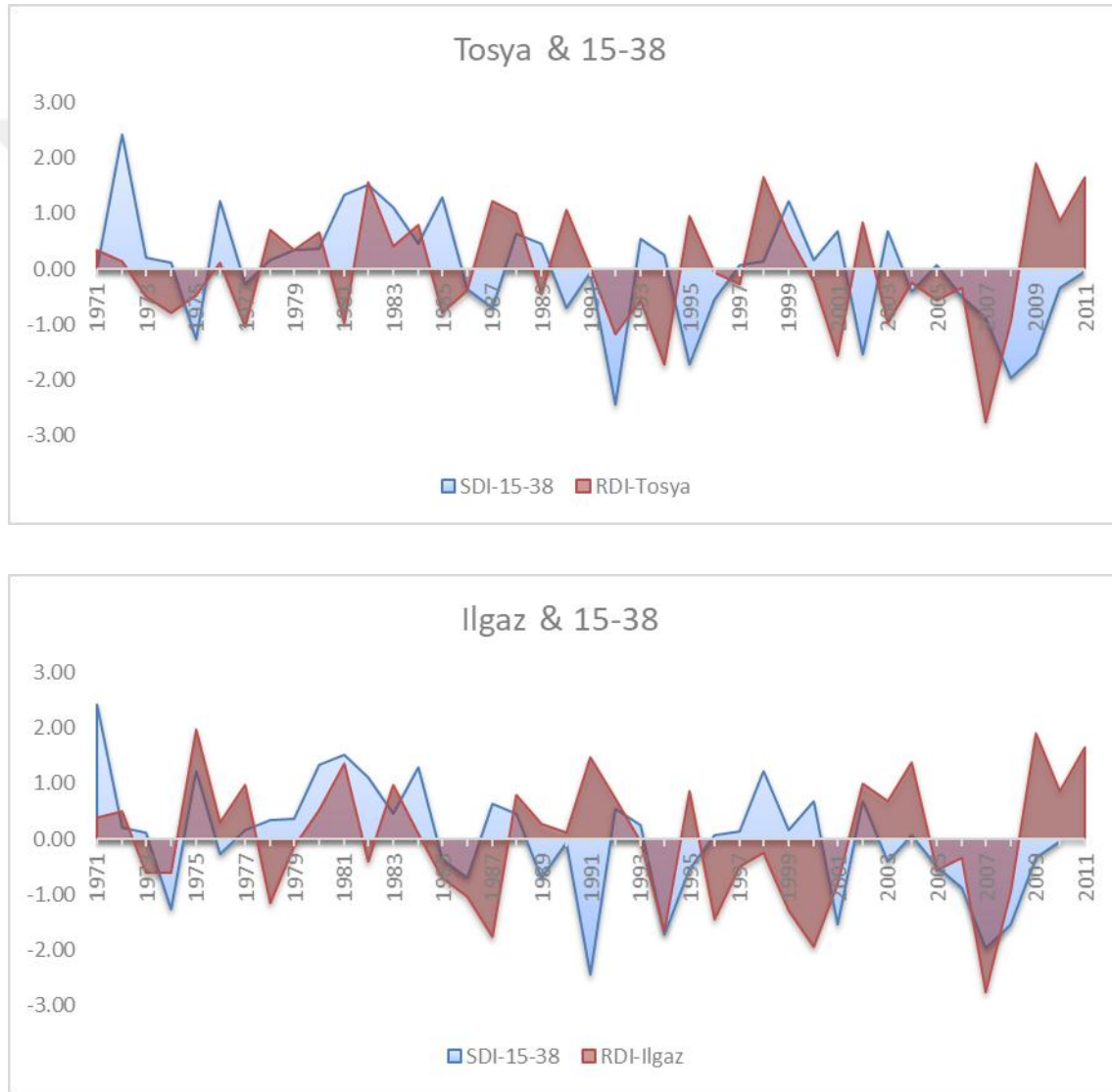
Şekil 3.71. Yozgat istasyonuna ait RDI sonuçları ve Yozgat 15-17 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

Yozgat istasyonu ile Yozgat yakınlarında yer alan 15-17 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.71'de verilmiştir. RDI'ya göre 1971-1974 döneminde şiddetli seviyelere ulaşan kuraklık tespit edilirken SDI değerlerinde 1973-1976 döneminde kuraklıklar gözlenmiştir. 1976-1992 dönemi her iki analizde sulak olarak tespit edilmiştir. RDI analizinde kuraklığın gözlemlendiği dönemlerde SDI değerlerinde sonraki yılda azalmalar görülmüştür. RDI analizinde 1999-2000, 2002-2003 ve 2005-2006 yıllarında aralıklarla kuraklık gözlenirken SDI analizinde 2002-2010 döneminde sürekli ve 2006'da her iki analizde aşırı kurak seviyeye ulaşan kuraklık görülmüştür.



Şekil 3.72. Nevşehir istasyonuna ait RDI sonuçları ve Nevşehir 15-32 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

Nevşehir istasyonu ile Nevşehir yakınlarında yer alan 15-32 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.72’de verilmiştir. SDI değerlerinde gözlenen 1971-1975 dönemi kuraklığı RDI değerlerinde 1972-1974 döneminde gözlenmiştir. 1985-1991 döneminde sulak dönemler her iki analiz sonuçlarında birbirini izlemektedir. 1994 ve 1996 yılında RDI analizinde izlenen kuraklık SDI analizinde sırasıyla 1995-1996 ve 1998 yıllarında hafif şiddetli kuraklık seviyesinde izlenebilmiştir.

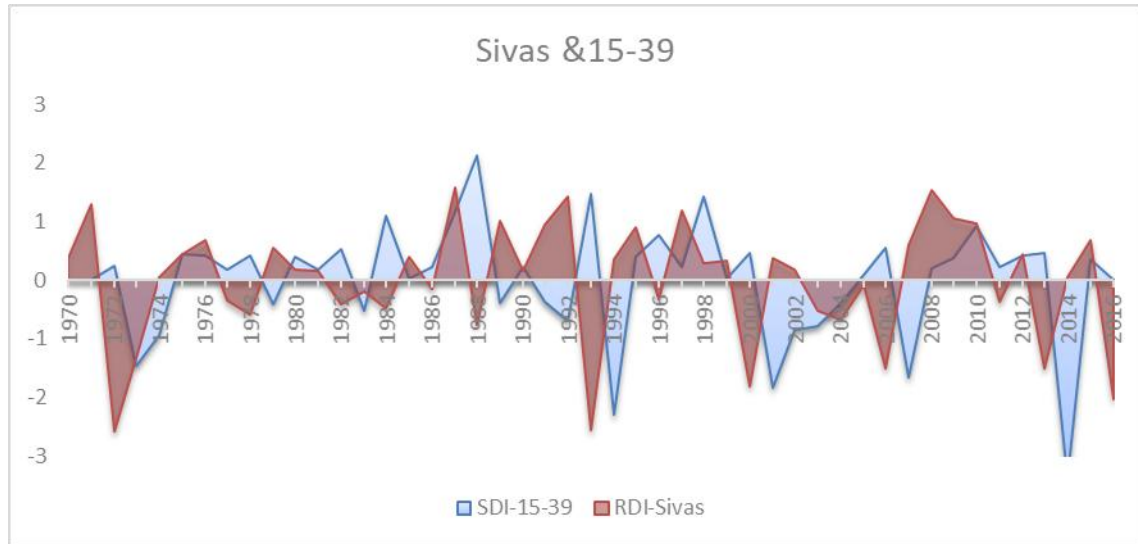


Şekil 3.73. Tosya ve İlgaz istasyonuna ait RDI sonuçları ve Tosya-İlgaz yolu üzerinde bulunan 15-38 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

Tosya istasyonu ile Tosya yakınlarında yer alan 15-38 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.73’te verilmiştir. 1973-1975 döneminde

RDI sonuçlarında izlenen kuraklık SDI sonuçlarında 1975 yılında hafif şiddette gözlenmiştir. 1978-1984 döneminde her iki analiz de benzer seviyelerde sulak dönemler izlenmiştir. 1985-1986 yıllarında RDI ile gözlenen hafif şiddette kuraklık SDI analizinde 1986-1987 yıllarında izlenmiştir. RDI analizinde 1991-1994 dönemi kuraklığı hafif ve orta şiddette gözlenirken SDI sonuçlarında 1989-1993 döneminde aşırı kurak ve 1994-1997 dönemlerinde şiddetli kurak dönemler görülmüştür. 1997-1999 dönemi her iki analizde sulak olarak devam ederken, RDI sonuçları 2000-2001 döneminde orta şiddette kurak olarak izlenmiş ve SDI sonuçlarında 2002 yılında orta şiddette kuraklık görülmüştür. RDI analizinde 2003-2008 dönemi uzun ve özellikle 2007 yılında aşırı kurak şiddete ulaşan kuraklıklar izlenmiştir. SDI analizinde ise 2005-2011 döneminde uzun süreli ve aşırı kuraklığa yaklaşan ve 2008'de maksimum seviyeye ulaşan bir kuraklık izlenmiştir.

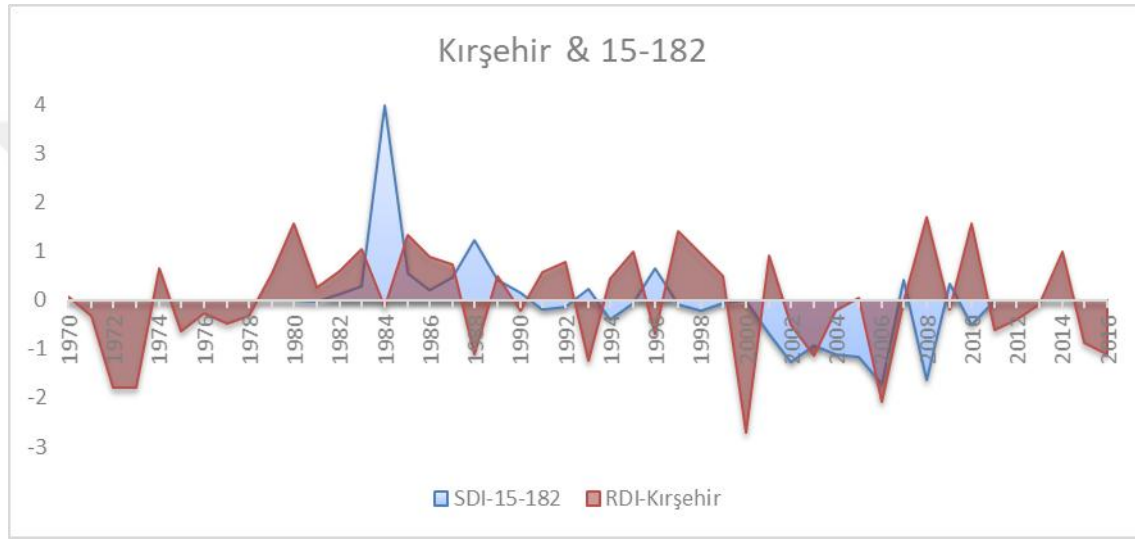
İlgaz istasyonunda da kurak ve sulak dönemlerin birbirini izlediği anca bazı dönemlerde RDI Sulak iken SDI değerlerinin kurak olarak izlendiği görülmüştür. 2000 yılı sonrasındaki dönemde 2005-2010 döneminde her iki analizde de aşırı kurak seviyeye ulaşan kurak dönem tespit edilmiştir.



Şekil 3.74. Sivas istasyonuna ait RDI sonuçları ve Sivas yakınlarında bulunan 15-39 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

Sivas istasyonu ile Sivas yakınlarında yer alan 15-39 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.74'te verilmiştir. RDI analizlerinde 1971-1974 döneminde gözlenen aşırı kuraklık SDI analizlerinde 1972-1975 döneminde

yoğunlukla hafif şiddetli olarak görülmüştür. 1992-1993 yılında RDI analizinde gözlenen aşırı kuraklık SDI analizinde 1993-1995 döneminde aşırı kuraklık olarak izlenmiştir. RDI’da izlenen 1999-2001 kuraklığı SDI analizinde 2000-2005 döneminde orta şiddette kurak olarak gözlenmiştir. RDI’da izlenen 2005-2007 kuraklığı SDI analizinde 2006-2008 döneminde izlenmiştir. RDI’da izlenen 2012-2014 dönemi kuraklığı orta şiddette iken, SDI ‘da izlenen kuraklık 2013-2015 döneminde aşırı kurak seviyelere kadar ulaşmıştır.



Şekil 3.75. Kırşehir istasyonuna ait RDI sonuçları ve Kırşehir yakınlarında bulunan 15-182 akım gözlem istasyonuna ait SDI sonuçları kıyaslaması

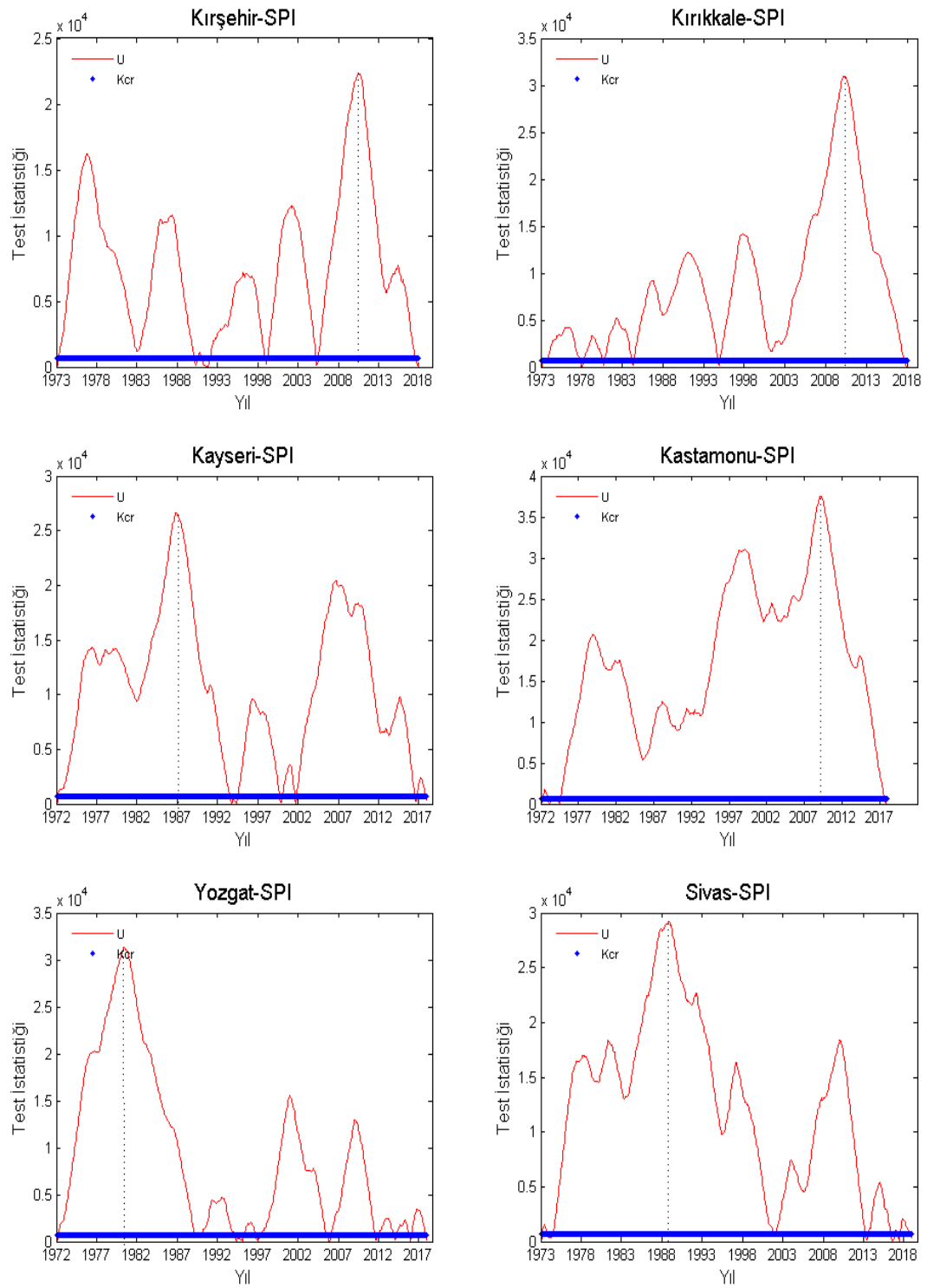
Kırşehir istasyonu ile Kırşehir yakınlarında yer alan 15-182 istasyonu için yapılan kuraklık analizlerinden SDI ve RDI sonuçları Şekil 3.75’te verilmiştir. 1982-1992 döneminde her iki kuraklık indisi de 1988 hariç sulak dönemler göstermiştir. 1988 ve 1992 yılında hafif kurak olan RDI sonuçları SDI analizinde 1989 ve 1993 yılında azalma ve hafif kurak bölgeye geçişler olarak izlenmiştir. 1999-2007 döneminde RDI analizden aralıklı kuraklıklar izlenirken SDI analizinde 2000-2007 döneminde uzun süreli ve şiddetli kuraklığa ulaşan seviyeler izlenmiştir. 2008-2012 döneminde RDI sulak döneme geçiş yapmış ancak SDI değerleri kurak dönemde ilerlemeye devam etmiştir.

3.5.8. Kuraklık Analizlerinde Trend Analizi ve Değişim Noktası Testi

Kızılırmak havzasında meteorolojik ve hidrolojik verilerle yapılan kuraklık analizleri sonucu farklı periyotlarda elde edilen kuraklık analizi sonuçlarının eğilim analizleri önceki bölümlerde bahsedilen Hamed-MK, MK, LR ve SRHO yöntemleri ile yapılmış ve değişim noktası tespiti için PT kullanılmıştır. Yapılan trend testleri sonucu SPI analizlerinde elde edilen sonuçlar Tablo 3.24'te verilmiştir. Pettitt(PT) Testine ait grafikler Şekil 3.75'te sunulmuştur. Analizlerin farklı periyotlardaki sonuçları benzer değerler verdiği için 24 aylık SPI analizlerinin sonuçları sunulmuştur. SPI serilerinde Ilgaz istasyonu hariç diğer istasyonlarda artan eğilim gözlenmektedir. Sadece Ilgaz istasyonu 2002 yılından itibaren azalan bir eğilim göstermiştir. Kastamonu, Sivas, Kayseri ve Osmancık istasyonları uygulanan tüm testlerde(%100) eğilim göstermiştir. Yozgat, Gemerek, Çiçekdağı ve Kaman istasyonları uygulanan testlerde 3 testte eğilim(%75) göstermiştir. Kırşehir ve Kırıkkale istasyonları ise iki testte(%50) eğilim göstermişlerdir. Kaman ve Yozgat istasyonları sırasıyla 1979 ve 1981 yıllarında, Kayseri ve Sivas istasyonları 1987 ve 1988 yıllarında artış yönünde eğilim göstermiştir. 1996 yılında eğilim göstermeye başlayan istasyonlar Çiçekdağı ve Osmancık olmuştur. 2000 yılı sonrasında artan eğilim gösteren istasyonlar Gemerek, Kırıkkale, Kastamonu ve Kırşehir istasyonları olmuştur.

Tablo 3. 24. Kızılırmak havzasına ait SPI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları

SPI				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
Kastamonu	Artan	100	446	2010
Sivas	Artan	100	201	1988
Kırıkkale	Artan	50	448	2009
Yozgat	Artan	75	100	1981
Kırşehir	Artan	50	456	2010
Gemerek	Artan	75	424	2007
Kayseri	Artan	100	178	1987
Ilgaz	Azalan	75	264	2002
Osmancık	Artan	100	224	1996
Çiçekdağı	Artan	75	272	1996
Kaman	Artan	75	106	1979

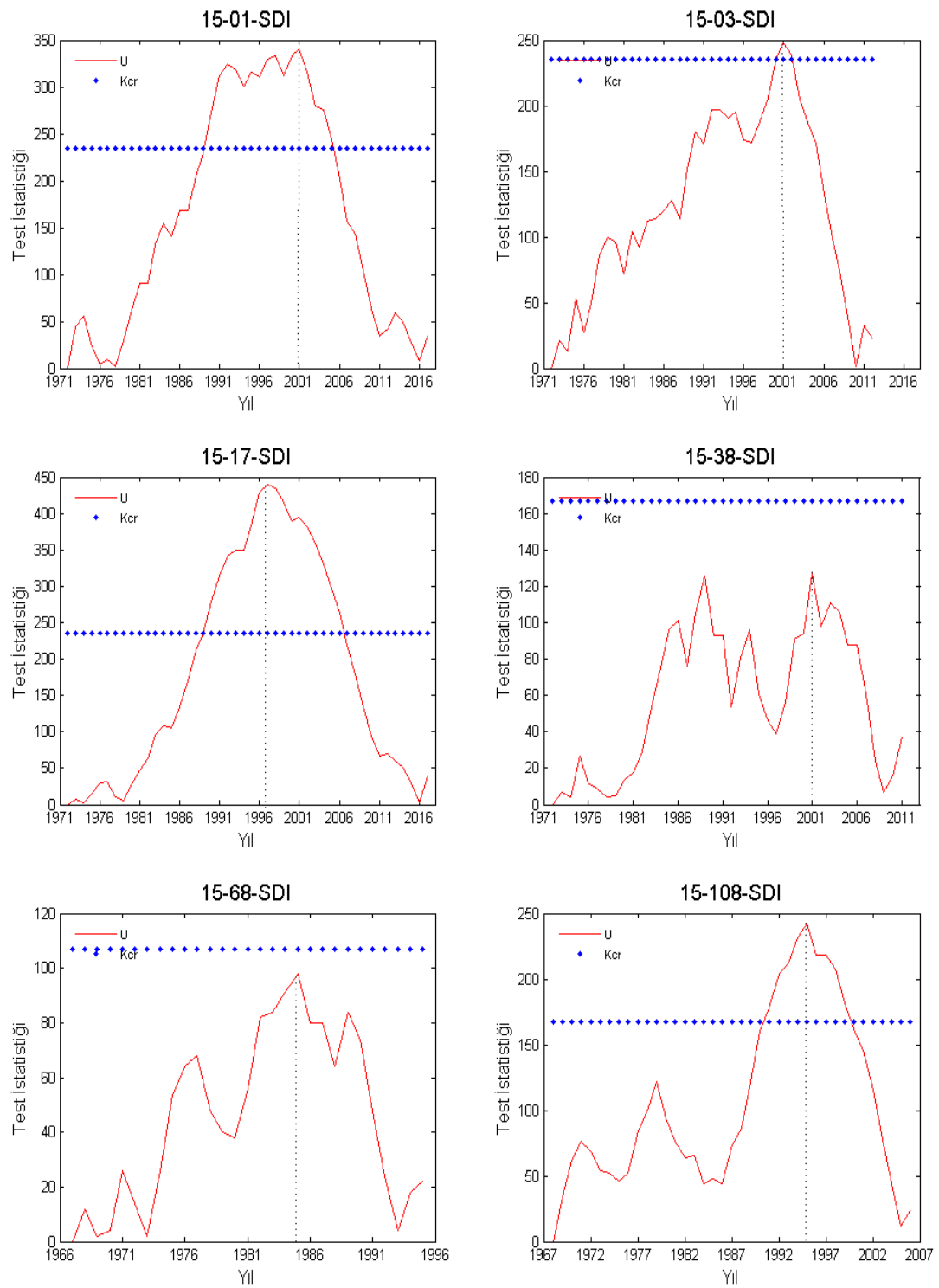


Şekil 3.76. Kızılırmak havzasına ait SPI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları

Akım kuraklık analizi olan SDI analizinin trend testlerine göre sonuçları Tablo 3.25'te verilmiştir. Pettitt(PT) testine ait grafikler ise Şekil 3.76'da sunulmuştur. Eğilim analizlerinde 3, 6 ve 12 aylık periyotlara göre elde edilen SDI sonuçları değerlendirilmiş ve benzer sonuçları gösterdikleri için 3 aylık değerlendirme sonuçları sunulmuştur. Trende sahip istasyonlar genellikle azalan eğilim göstermişlerdir. Bu durum kuraklığın akımlarda negatif ilerleme gösterdiğini işaret etmektedir. Eğilimlerin 1984 yılında başladığı 15-68 istasyonu Kırşehir yakınlarında yer almaktadır. 15-108 ve 15-17 istasyonlarında azalmalar sırasıyla 1994 ve 1997 yıllarına denk gelmiştir. 15-01, 15-03 ve 15-38 istasyonlarında değişim noktası olan 2001 yılından itibaren azalmalar gözlenmiştir. Sonuçlar uygulanan tüm testlerde %100 eğilim olarak tespit edilmiştir. Eğilim testleri sonucunda iki istasyonda Temmuz-Eylül dönemi eğilimlerinin artan yönde olduğu tespit edilmiştir. Bu iki istasyon 15-01 ve 15-17 istasyonlarıdır. 15-17 istasyonunda eğilim 1993 yılından, 15-01 istasyonunda 2006 yılından itibaren yaz dönemi değerlerinde artan bir eğilim tespit edilmiştir.

Tablo 3.25. Kızılırmak havzasına ait SDI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları

SDI				Pettitt
İstasyon adı	Trend -24	%	Sıra	Değişim noktası
15-01	Azalan	100	30	2001
15-03	Azalan	100	30	2001
15-17	Azalan	100	26	1997
15-38	Azalan	100	30	2001
15-108	Azalan	100	28	1994
15-68	Azalan	100	19	1984
15-01-(3m-Tem-Ey)	Artan	75	35	2006
15-17-(3m-Tem-Ey)	Artan	100	23	1993

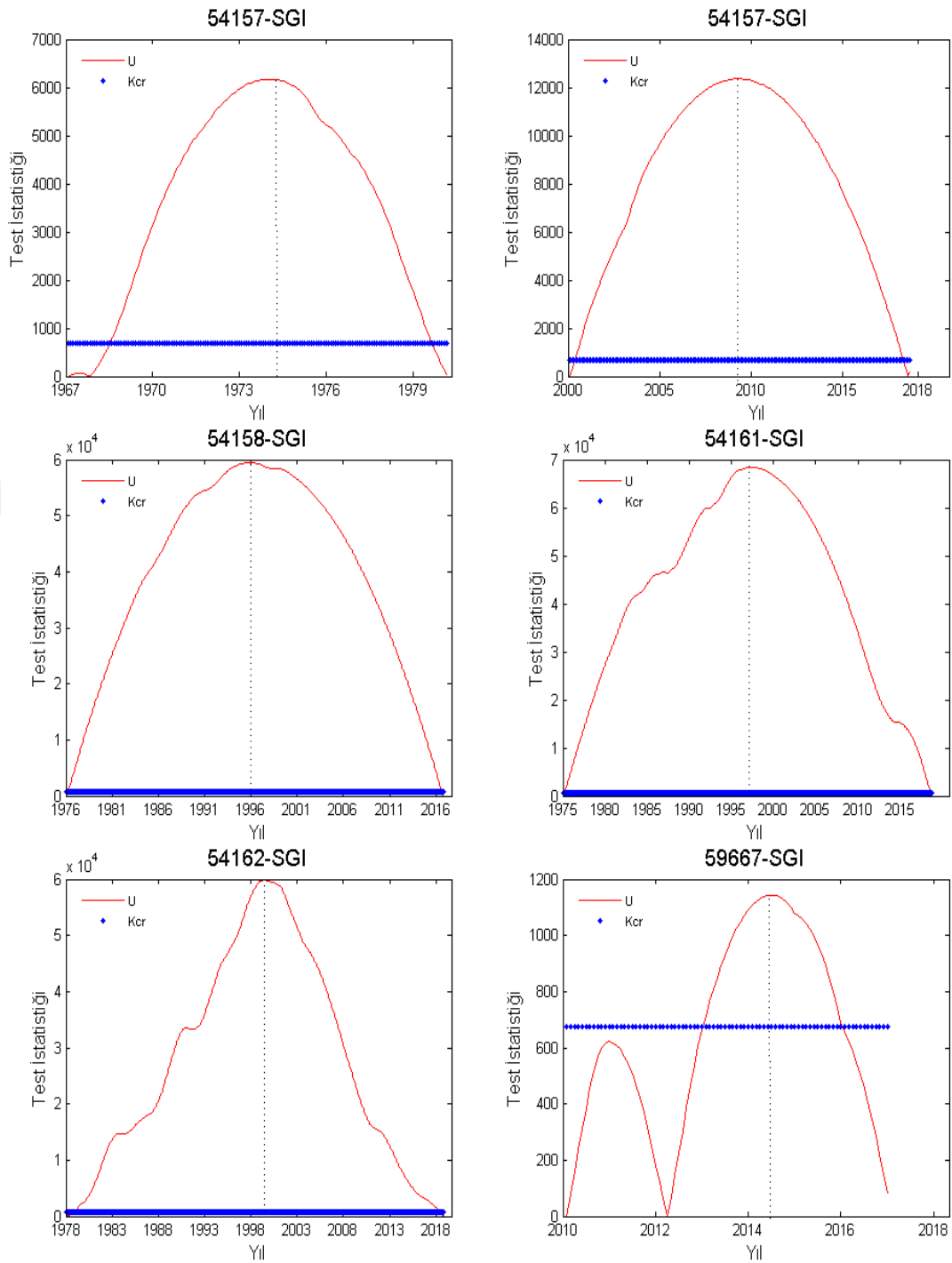


Şekil 3.77. Kızılırmak havzasına ait SDI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları

Yeraltı suyu seviyeleri ile kuraklık analizi olan SGI analizinin trend testlerine göre sonuçları Tablo 3.26'da verilmiştir. Trende sahip istasyonlar azalan eğilim göstermişlerdir. Bu durum kuraklığın yeraltı suyu seviyelerinin daha derinlere ilerlediğini göstermektedir. Elde edilen eğilimler uygulanan trend testlerinde %100 eğilime sahiptir. Uzun dönem verisine sahip istasyonlardan Develi alt havzasında yer alan 54158, 54161 ve 54162 istasyonları sırasıyla 1996, 1997 ve 1999 yıllarında eğilim göstermiştir. 2000 yılından sonra veriye sahip istasyonlarda eğilimler 2009, 2012, 2014 ve 2015 dönemlerinde tespit edilmiştir.

Tablo 3.26. Kızılırmak havzasına ait SGI kuraklık analizi serilerinin Hamed-MK, MK, LR ve SRHO trend testlerine göre eğilim sonuçları ve Pettitt(PT) testine göre değişim noktaları

SGI				Pettitt
İstasyon adı	Trend	%	Sıra	Değişim noktası
54158	Azalan	100	243	1996
54157-(67-82)	Azalan	100	92	1975
54157-(01-18)	Azalan	100	111	2009
54159-(67-92)	Azalan	100	117	1978
54159-(03-18)	Azalan	100	96	2012
54160-(76-01)	Azalan	100	167	1991
54160-(04-18)	Azalan	100	96	2012
54161	Azalan	100	276	1997
54162	Azalan	100	269	1999
53215	Azalan	100	59	2015
59667	Azalan	100	54	2014



Şekil 3.78. Kızılırmak havzasına ait SGI kuraklık analizi serilerinin Pettitt(PT) testine göre sonuçları

Kızılırmak havzasına ait meteorolojik ve hidrolojik verilerin esas alındığı çalışmada kuraklığın yeraltı ve yerüstü su kaynaklarına etkisi araştırılmıştır. Çalışma 5 aşamada sonuçlandırılmıştır. Öncelikle meteorolojik verilerin ve hidrolojik verilerin homojenlik ve durağanlık kontrolü yapılarak verinin dağılımı kontrol edilmiştir. Homojenlik araştırması Von-Neumann homojenlik testi ile Durağanlık araştırması KPSS, ADF ve

PP testleri ile yapılmıştır. Homojen olmayan ve dağılımında şüphe duyulan istasyonlar uygulamaya dahil edilmemiştir.

İkinci aşamada meteorolojik ve hidrolojik verilerin eğilimlerinin tespit edilmesi amacıyla 20 meteorolojik istasyondan elde edilen 1970-2017 dönemine ait meteorolojik veri ile 14 akım gözlem istasyonundan alınan akım ve 20 yeraltı suyu kuyusundan alınan yeraltı suyu seviye verilerine eğilim analizi uygulanmıştır. Uygulamada maksimum ve minimum sıcaklıklarda artan eğilim gözlenirken, yağış, buharlaşma ve rüzgâr hızı serilerinde hem artan hem de azalan eğilimlere rastlanmıştır. Havzaya ait meteorolojik verilerden Maksimum ve minimum sıcaklık verilerinde artan eğilim belirgin olarak gözlenmiş ve özellikle maksimum sıcaklıklarda 1993-1994 dönemi ve 1997-1998 döneminde eğilimlerin artan yönde ilerlediği tespit edilmiştir. Minimum sıcaklıklarda bu eğilimler 1987-1988, 1997-1998 ve 2005 dönemlerinde görülmüştür. Bu dönemler Türkiye kuraklıkları arasında etkisi hissedilen şiddetli kurak yıllardandır(Türkeş,2008). Ayrıca 1998 yılı dünya tarihinde en sıcak olarak kaydedilen yıllardan biridir.

Yağış verilerinde gözlenen eğilimlerde Ilgaz istasyonu hariç artan eğilim gözlenmiş, Ilgaz istasyonu 1974'ten bu yana azalan yağış eğilimini işaret etmiştir. Yağış eğilimlerinin artan yönde olduğu dönemler 1983, 1994 ve 1997 yıllarıdır. Sıcaklıkların eğilime başladığı ve kuraklıkları etkin olduğu dönemlerde yağışlarda gözlenen artış dikkat çekicidir.

Rüzgâr hızı verilerinde ise eğilimler hem azalan hem de artan yöndedir. Ancak havza içinde eğilimlerin dağılımında belirgin bir etki görülmemiştir. Rüzgâr hızı serilerinde eğilime sahip 15 istasyondan 9 istasyon azalan eğilim gösterirken, 6 istasyon artan eğilim göstermiştir.

Kızılırmak havzası akımlarını araştırma sonucu eğilimin tespit edildiği 14 istasyondan 4 istasyonda artan eğilim(%29) gözlenirken, 10 istasyonda azalan eğilim(%71) gözlenmiştir. Artan eğilim gösteren istasyonların veri kayıtları 1965-2000 dönemini kapsamaktadır. Ancak azalan eğilim gösteren istasyonlarda veri kayıtları 2015 yılına kadar ulaşmaktadır. Bu durum artan eğilim gösteren istasyonlarda eğilimin 20 yıl öncesine göre ortaya çıktığı ve 20 yıl içinde oluşan iklimsel etkilere maruz kalmadığı için böyle bir sonuca ulaşıldığı düşünülmektedir. Eğilimlerin gerçekleştiği dönemler

kurak dönemlerle büyük oranda uyum sağlamaktadır. Düşüş gösteren istasyonlarda hem iklimin hem de çevresel etkilerin rol oynadığı düşünülmektedir. Akımlarda azalmaların başladığı dönemlerde işletmeye açılan barajlar bulunmaktadır. Barajların çevresel etkisi ve 1980-2000 yılları arasında sıklıkla gözlenen kurak dönemlerin kuraklığa meyilli bir iklime sahip olan İç Anadolu bölgesinde akımlarda eğilimlerin azalan yönde olmasına katkısı olduğu düşünülmektedir.

Akımlarda gözlenen düşüşlerle birlikte yeraltı suyu seviyelerinde eğilimler büyük oranda artan yöndedir. Develi ve Kırşehir alt havzalarında eğilim %85 düzeyindedir. Boğazlıyan alt havzasında ise artan eğilim %50 olarak tespit edilmiştir. Yeraltı suyu seviyelerinde gözlenen artan eğilimler suyun daha derinlerden çekildiğini ve tüketiminin arttığını göstermektedir. Eğilimlerin 1996-2001 döneminde özellikle Develi alt havzasında yer alan kuyularda artan yönde ilerlediği ve 2008 yılı sonrasında ise hızlı bir artışa devam ettiği görülmüştür. 2000’li yıllardan itibaren yağışların normallerin altında kaldığı ve üst üste gözlenen kuraklıkların şiddetli etkisinin hissedildiği bu dönemde hem kentsel hem de sulama amacıyla kullanılacak su ihtiyacı artmış ve su ihtiyacının giderilmesinde tercih edilen ilk kaynak olarak yeraltı suyunun kullanılması sebebiyle yeraltı suyu kaynaklarından su tüketimi hızlanmıştır.

Kuraklık analizlerinde değerlendirmenin daha kapsamlı olabilmesi açısından veri setleri aylık yağış, aylık yağış ve PET, aylık akım ve aylık yeraltı suyu seviyeleri olarak belirlenmiştir. Yağış ve yeraltı suyu seviyeleri ile analiz yapan SPI ve SGI analizlerinde 12 ayrı periyot kullanılmıştır. Akım ve Yağış + PET verileri ile analiz yapan SDI ve RDI analizlerinde 5 farklı periyot kullanılmıştır.

SPI analizine göre havzada gözlenen kurak dönemler 1973-1976, 1979-1980, 1983-1985, 1987-1988, 1993-1996, 2001-2003, 2004-2010, 2013-2014 ve 2017 olarak belirlenmiştir. Havzada kuraklığın en şiddetli olduğu yıl Yozgat ve Kastamonu istasyonlarında maksimum kuraklık şiddetinin -3.14 olduğu aşırı kuraklığın hâkim olduğu 2001 yılıdır. Özellikle kuraklığa daha yatkın olan İç Anadolu bölgesi ikliminin hüküm sürdüğü istasyonlarda kuraklığın daha uzun ve şiddetinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kayseri, Kırşehir, Nevşehir ve Sivas çevrelerinde kuraklığın daha uzun ve şiddetli olduğu belirlenmiştir. Mevsimsel ölçekte mevsimler arası fark gözlenmemiştir.

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Kuraklık analizlerinde elde edilen sonuçlar kuraklık sürelerine göre incelendiğinde 24 ay ötelemeli SPI analizlerine göre 20 istasyon ile yapılan uygulamalarda en uzun kuraklık süresi 203 ay, kuraklık oranı % 36 ile Kayseri istasyonunda tespit edilmiştir. Ardından Sivas (%35) ve Yozgat (%34) istasyonlarında 194 ve 187 ay ile kurak dönemler görülmüştür. En az kuraklık süresine sahip istasyon 125 ay boyunca kuraklık tespit edilen Çiçekdağı istasyonu(%27) olmuştur.

RDI ile yapılan gözlem ve uygulamalarda 12 aylık serilerde havza genelinde 13 yıl kurak süre ve %30 kuraklık oranı tespit edilmiştir. En kurak istasyon %35 kuraklık oranına sahip olan Çiçekdağı istasyonu olmuştur. Aşırı kuraklığın en çok görüldüğü istasyon Sivas istasyonu olurken (%28), şiddetli kuraklığın en çok görüldüğü istasyon Sivas(%28), Develi(%28) ve Ürgüp(%25) istasyonları olmuştur.

Yeraltı suyu bazlı analiz olan 12 ay ötelemeli SGI analizlerinde Develi havzasında yer alan 54159 istasyonu %40 kuraklık oranı ve 188 ay kuraklık süresi ile kuraklığı en uzun süren istasyon olmuştur. Develi alt havzasında yer alan istasyonlarda kesintisiz kayda sahip olan istasyonlardan 54158 istasyonunda 168 ay ve %33 kuraklık oranı ve 54162 istasyonu 154 ay ve %31 kuraklık oranı tespit edilmiştir. En düşük kuraklık süresi 28 ay ve %23 ile Boğazlıyan alt havzasında yer alan 60078 istasyonunda izlenmiştir.

Akımlarda gözlenen kuraklıklara bakıldığında 12 aylık SDI analizlerinde 11 yıl kurak süre ve %25 kuraklık oranı tespit edilmiştir. En kurak istasyon %25 kuraklık oranına sahip olan 15-17 istasyonu olmuştur. Aşırı kuraklığın en çok görüldüğü istasyon 15-39 istasyonu olurken (%20), şiddetli kuraklığın en çok görüldüğü istasyon 15-108(%40), 15-38(%37) ve 15-32(%34) istasyonları olmuştur.

Kızılırmak havzasında yapılan kuraklık analizinde 4 farklı kuraklık indisi kullanılmış ve kuraklık hesaplamalarının farklı parametreler üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Havza genelinde kuraklığın görüldüğü dönemler 1973-1976, 1979-1980, 1985-1986, 1993-1996, 2001-2003 ve 2005-2010 dönemleri olarak tespit edilmiştir.

Kuraklıkların etkili olduğu ve şiddetinin arttığı yıllarda iklim değişiminin dünya genelinde etkisinin fazla olduğu dönemlerle uyum sağladığı görülmüştür. Kızılırmak havzası yapısı itibarıyla farklı iklimsel özelliklere sahip alanları kapsamaktadır. Bu nedenle iklim değişiminin etkileri kuraklığa meyilli olan İç Anadolu topraklarında daha şiddetli şekilde hüküm sürmüştür. Yapılan çalışma ile kuraklığın şiddetinin giderek arttığı ve kurak sürelerin daha uzun olduğu görülmüştür. Özellikle yeraltı suyunda gözlenen kuraklık su ihtiyacı için geçerli kaynaklarımızdan en önemlisini tehdit etmektedir. Kuraklığın tespiti ile mevcut su kaynaklarının etkin kullanılması planlanmalıdır. Tarımın önemli bir unsur olduğu havzada tarımsal sulamanın dikkatle düzenlenmesi gerekmektedir. Verimin düşmesi, ürünün azalması ve kalite bakımından olumsuz etkilenmesi arz talep dengesi ile ekonomik anlamda sıkıntılara sebep olabilecektir. 2020 ve 2021 yılında tarımsal arazilerde gözlenen olumsuzluklar bunun acil ihtiyaç olduğunu ve en kısa sürede çözülmesi gerektiğini göstermektedir.

Özellikle son dönemde hayatımıza giren kuraklık, sel, iklim değişikliği gibi kavramların halka tanıtılması ve küçük yaştan itibaren bilinçlendirme ile suya olan ihtiyacımız ve su tasarrufu konularında toplumun daha duyarlı olması için çalışmalar yapılmalıdır. Gerek görsel medya gerekse yazılı medyada bu konuya dikkat çeken ve bilgilendiren içeriklerin bulunması önem taşımaktadır. Tarımsal sulama alanında çiftçilerin daha az su ile daha verimli ürün alabilecekleri konusunda bilgilendirme ve eğitimlerle özellikle bilinçsiz yeraltı suyu kullanımının önüne geçilmelidir. Su tüm canlıların hayatı için kıymetlidir ve sahip çıkılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Adam, J. C., Hamlet, A. F., Lettenmaier, D. P., 2009. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. **Hydrological Processes: An International Journal**, **23** (7): 962-972.
- Adib, A., Marashi, S.S., 2019. Meteorological drought monitoring and preparation of long-term and short-term drought zoning maps using regional frequency analysis and L-moment in the Khuzestan province of Iran. **Theoretical and Applied Climatology**, **137** (1-2): 77-87.
- Akhtari, R., Mahdian, M., Morid, S., 2006. Spatial analysis of drought indices including SPI and EDI in Tehran. **Iran Water Res Res**, **2** (3): 27-38.
- Aksay, C. S., Ketenoglu, O., Latif, K., 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. **Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi**, **1** (25): 29-42.
- Alley, W. M., 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. **Journal of climate and applied meteorology**, **23** (7): 1100-1109.
- Amadore, L., Bolhofer, W., Cruz, R., Feir, R., Freysinger, C., Guill, S., Jalal, K., Iglesias, A., Jose, A., Leatherman, S., 1996. Climate change vulnerability and adaptation in Asia and the Pacific: workshop summary. **Water, Air, and Soil Pollution**, **92** (1-2): 1-12.
- Anderson Jr, W. P., Emanuel, R. E., 2008. Effect of interannual and interdecadal climate oscillations on groundwater in North Carolina. **Geophysical Research Letters**, **35** (23).
- Arrhenius, S., 1896. XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, **41** (251): 237-276.
- Arslan, O., Bilgil, A., Veske, O., 2016. Standart Yağış İndisi Yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın Meteorolojik Kuraklık Analizi. **Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **5** (2): 188-194.
- Asadi Zarch, M. A., Sivakumar, B., Sharma, A., 2015. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). **Journal of Hydrology**, **526**: 183-195.

- Bae, S., Lee, S.-H., Yoo, S.-H., Kim, T., 2018. Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010. **Water**, **10** (3): 327.
- Banimahd, S. A., Khalili, D., 2013. Factors Influencing Markov Chains Predictability Characteristics, Utilizing SPI, RDI, EDI and SPEI Drought Indices in Different Climatic Zones. **Water resources management**, **27** (11): 3911-3928.
- Barua, S., Ng, A., Perera, B., 2011. Comparative evaluation of drought indexes: case study on the Yarra River catchment in Australia. **Journal of Water Resources Planning and Management**, **137** (2): 215-226.
- Bayer Altin, T., Barak, B., 2017. Trends and changes in tropical and summer days at the Adana Sub-Region of the Mediterranean Region, Southern Turkey. **Atmospheric Research**, **196**: 182-199.
- Beldring, S., Engen-Skaugen, T., Førland, E. J., Roald, L. A., 2008. Climate change impacts on hydrological processes in Norway based on two methods for transferring regional climate model results to meteorological station sites. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, **60** (3): 439-450.
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., Sutera, A., 2003. Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. **Water resources management**, **17** (4): 273-296.
- Bordi, I., & Sutera, A. (2007). Drought monitoring and forecasting at large scale. In **Methods and tools for drought analysis and management** (pp. 3-27). Springer, Dordrecht.
- Burn, D. H., Elnur, M. A. H., 2002. Detection of hydrologic trends and variability. **Journal of Hydrology**, **255** (1-4): 107-122.
- Byakatonda, J., Parida, B. P., Moalafhi, D. B., Kenabatho, P. K., 2018. Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices. **Atmospheric Research**, **213**, 492-508.
- Byun, H.-R., Wilhite, D. A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of climate**, **12** (9): 2747-2756.

- Callendar, G. S., 1938. The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 64 (275): 223-240.
- Chaves, H. M., Camelo, A. P. S., Mendes, R. M., 2012. Groundwater discharge as affected by land use change in small catchments: A hydrologic and economic case study in Central Brazil. **Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations**; Treidel, H., Martin-Bordes, JL, Gurdak, JJ, Eds: 49-62.
- Chen, S., Muhammad, W., Lee, J.-H., Kim, T.-W., 2018. Assessment of Probabilistic Multi-Index Drought Using a Dynamic Naive Bayesian Classifier. **Water resources management**, 32 (13): 4359-4374.
- Chu, H.-J., 2018. Drought Detection of Regional Nonparametric Standardized Groundwater Index. **Water resources management**, 32 (9): 3119-3134.
- Dahmen, E., Hall, M. J. (1990). Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency, ILRI
- Dalezios, N., Gobin, A., Tarquis, A., Eslamian, S., 2016. Agricultural Drought Indices: Combining Crop, Climate and Soil Factors. Book chapter 5 in *In: Handbook of Drought and Water Scarcity (HDWS)*. S. E. a. F. Eslamian. Taylor and Francis (accepted, in press) ve.
- Dalezios, N. R., Dunkel, Z., Eslamian, S., 2016. Meteorological drought indices: definitions. **Handbook of Drought and Water Scarcity. Principles of Drought and Water Scarcity**, 1: 24-44.
- Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E., Hesami Afshar, M., 2020. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, 65 (2): 254-268.
- David, V., Davidová, T., 2016. Assessment of Summer Drought in 2015 Using Different Indices in the Catchment of Blanice River. **Procedia engineering**, 162: 45-55.
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M., Sümer, U. M., 2008. Türkiye’de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. **TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı**: 69-84.

- Dezman, L., Shafer, B., Simpson, H., Danielson, J. (1983). Development of a Surface Water Supply Index- A Drought Severity Indicator for Colorado. *International Symposium on Hydrometeorology June 13-17, 1982, Denver, Colorado. American Water Resources Association, 1983. p 337-341, 3 fig, 3 ref., 1983.*
- Dikbas, F., Bacanlı, U. G., 2020. Detecting Drought Variability by using Two-Dimensional Correlation Analysis. **Teknik Dergi**, **32** (4).
- Dogan, S., Berktaş, A., Singh, V. P., 2012. Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, **470**: 255-268.
- Dupuis, D. J., 2010. Statistical modeling of the monthly Palmer drought severity index. **Journal of Hydrologic Engineering**, **15** (10): 796-807.
- Durdu, O. F., 2010. Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin, western Turkey. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, **24** (8): 1145-1162.
- Ekhtiari, S., Dinpashoh, Y., 2019. Application of effective drought index (EDI) in characterizing drought periods (case study: Tabriz, Bandar-e Anzali and Zahedan stations). **Sustainable Water Resources Management**, **5** (4): 1723-1729.
- Enders, W., 2004. Applied Econometrics Time Series. New York: John Wiley.
- Gibbs, W., Maher, J., 1967. Rainfall deciles as drought indicators, bureau of meteorology bulletin no. 48. **Commonwealth of Australia, Melbourne**, **29**.
- Gillette, H., 1950. A creeping drought under way. **Water and sewage works**, **104** (5).
- Glantz, M. (2003). Climate affairs: A Primer. Washington, D.C., Island Press
- Gleick, P. H., 1987. Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO₂ and other trace gases. **Climatic Change**, **10** (2): 137-160.
- Goyal, M. K., Gupta, V., Eslamian, S., 2017. Hydrological Drought: Water Surface and Duration Curve Indices. **Handbook of drought and water scarcity: Principles of drought and water scarcity**.

- Gujarati, D. N., Porter, D. C. (1999). Essentials of econometrics, Irwin/McGraw-Hill Singapore
- Gumus, V., Algin, H. M., 2017. Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan–Ceyhan River Basins, Turkey. **Meteorological Applications**, **24** (1): 62-73.
- Gurdak, J. J., Hanson, R. T., McMahon, P. B., Bruce, B. W., McCray, J. E., Thyne, G. D., Reedy, R. C., 2007. Climate Variability Controls on Unsaturated Water and Chemical Movement, High Plains Aquifer, USA All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. **Vadose Zone Journal**, **6** (3): 533-547.
- Gurrapu, S., Chipanshi, A., Sauchyn, D., Howard, A. (2014). Comparison of the SPI and SPEI on predicting drought conditions and streamflow in the Canadian prairies, 2-6. *Proceedings of the 28th Conference on Hydrology*, 2014, American Meteorological Society Atlanta, USA.
- Guttman, N. B., 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, **34** (1): 113-121.
- Gümüş, V., Başak, A., Oruç, N., 2016. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. **Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi**, **1** (1): 36-44.
- Hamed, K. H., Rao, A. R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, **204** (1-4): 182-196.
- Hamlet, A. F., Mote, P. W., Clark, M. P., Lettenmaier, D. P., 2007. Twentieth-century trends in runoff, evapotranspiration, and soil moisture in the western United States. **Journal of Climate**, **20** (8): 1468-1486.
- Hanson, R., Newhouse, M., Dettinger, M., 2004. A methodology to assess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States. **Journal of Hydrology**, **287** (1-4): 252-269.

- Hayes, M. J., Alvord, C., Lowrey, J., 2007. Drought indices. **Intermountain west climate summary**, 3 (6): 2-6.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 80 (3): 429-438.
- Heim Jr, R. R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American meteorological Society**, 83 (8): 1149-1166.
- Hennessy, K., Gregory, J. M., Mitchell, J., 1997. Changes in daily precipitation under enhanced greenhouse conditions. **Climate Dynamics**, 13 (9): 667-680.
- Hiscock, K., Sparkes, R., Hodgson, A., 2011. Evaluation of future climate change impacts on European groundwater resources. **Climate change effects of groundwater resources: a global synthesis of findings and recommendations**. CRC, London: 351-365.
- Hsin-Fu, Y., Chia-Fu, C., 2019. Using Standardized Groundwater Index and Standardized Precipitation Index to Assess Drought Characteristics of the Kaoping River Basin, Taiwan. **Water Resources**, 46 (5): 670-678.
- Hulme, M., Jenkins, G. (1998). Climate change scenarios for the united kingdom scientific report 1998. UK.
- Huss, M., Hock, R., Bauder, A., Funk, M., 2010. 100 year mass changes in the Swiss Alps linked to the Atlantic Multidecadal Oscillation. **Geophysical Research Letters**, 37 (10).
- IPCC (1996). Climate change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Newyork, Cambridge University Press
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge., Cambridge University Press.
- IPCC, 2007. The physical science basis: Climate Change.

- IPCC, Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P., 2013. IPCC, 2013: summary for policymakers in climate change 2013: the physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Camb. Univ. Press Camb. UK NY NY USA.
- Johnson, W.K., Kohne, R.W., 1993. Susceptibility of reservoirs to drought using Palmer index. **Journal of Water Resources Planning and Management**, **119** (3): 367-387.
- Jyrkama, M. I., Sykes, J. F., 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). **Journal of Hydrology**, **338** (3-4): 237-250.
- Karl, T. R., 1986. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. **Journal of climate and applied meteorology**, **25** (1): 77-86.
- Kazemzadeh, M., Malekian, A., 2016. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. **Natural Hazards**, **80** (1): 191-210.
- Keeling, C., Whorf, T. (1958). Atmospheric CO₂ concentrations—Mauna Loa Observatory, 999. *Hawaii*, 1958.
- Keskin, M. E., Terzi, O., Taylan, E. D., Kucukyaman, D., 2009. Meteorological drought analysis using data-driven models for the Lakes District, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, **54** (6): 1114-1124.
- Keyantash, J., Dracup, J. A., 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. **Bulletin of the American Meteorological Society**, **83** (8): 1167-1180.
- Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A. A., Zand-Parsa, S., 2011. Comparability Analyses of the SPI and RDI Meteorological Drought Indices in Different Climatic Zones. **Water resources management**, **25** (6): 1737-1757.

- Kim, D.-W., Byun, H.-R., Choi, K.-S., 2009. Evaluation, modification, and application of the Effective Drought Index to 200-Year drought climatology of Seoul, Korea. **Journal of Hydrology**, **378** (1-2): 1-12.
- Kizilelma, Y., Celik, M., Karabulut, M., 2015. Trend analyses of temperature and precipitations in Central Anatolia. **Turkish Geographical Review**, **64**: 1-10.
- Kızılçelma, Y., Çelik, M., Karabulut, M., 2015. Trend analyses of temperature and precipitations in Central Anatolia. **Türk Coğrafya Dergisi**, **64**: 1-10.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Uvo, C. B., Velasco, E., Pulido-Velazquez, M., 2014. Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. **Journal of Hydrology**, **518**: 250-266.
- Kousari, M. R., Dastorani, M. T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M., Chezgi, J., 2014. Trend Detection of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran Based on Implementation of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Application of Non-Parametrical Statistical Method. **Water resources management**, **28** (7): 1857-1872.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., Shin, Y., 1992. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of econometrics**, **54** (1-3): 159-178.
- Lana, X., Burgueno, A., 2000. Statistical distribution and spectral analysis of rainfall anomalies for Barcelona (NE Spain). **Theoretical and Applied Climatology**, **66** (3-4): 211-227.
- Lettenmaier, D. P., Gan, T. Y., 1990. Hydrologic sensitivities of the Sacramento- San Joaquin River basin, California, to global warming. **Water Resources Research**, **26** (1): 69-86.
- Liu, H.-H., 2011. Impact of climate change on groundwater recharge in dry areas: An ecohydrology approach. **Journal of Hydrology**, **407** (1-4): 175-183.

- Liu, X., Zhu, X., Pan, Y., Bai, J., Li, S., 2018. Performance of different drought indices for agriculture drought in the North China Plain. **Journal of Arid Land**, **10** (4): 507-516.
- Livada, I., Assimakopoulos, V. D., 2007. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). **Theoretical and Applied Climatology**, **89** (3): 143-153.
- Lorenzo-Lacruz, J., Garcia, C., Morán-Tejeda, E., 2017. Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers. **Journal of Hydrology**, **552**: 516-531.
- Lweendo, M. K., Lu, B., Wang, M., Zhang, H., Xu, W., 2017. Characterization of droughts in humid subtropical region, upper Kafue river basin (southern Africa). **Water**, **9** (4): 242.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**: 245-259.
- Masud, M. B., Khaliq, M. N., Wheeler, H. S., 2015. Analysis of meteorological droughts for the Saskatchewan River Basin using univariate and bivariate approaches. **Journal of Hydrology**, **522**: 452-466.
- McGuffie, K., Henderson-Sellers, A., Holbrook, N., Kothavala, Z., Balachova, O., Hoekstra, J., 1999. Assessing simulations of daily temperature and precipitation variability with global climate models for present and enhanced greenhouse climates. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, **19** (1): 1-26.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, 179-183. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 1993, Boston.
- Merabti, A., Martins, D. S., Meddi, M., Pereira, L. S., 2018. Spatial and time variability of drought based on SPI and RDI with various time scales. **Water resources management**, **32** (3): 1087-1100.

- Mishra, A., Singh, V., Desai, V., 2009. Drought characterization: a probabilistic approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, **23** (1): 41-55.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., 2011. Drought modeling—A review. **Journal of Hydrology**, **403** (1-2): 157-175.
- Modaresi Rad, A., Khalili, D., Kamgar-Haghighi, A. A., Zand-Parsa, S., Banimahd, S. A., 2016. Assessment of seasonal characteristics of streamflow droughts under semiarid conditions. **Natural Hazards**, **82** (3): 1541-1564.
- Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K., 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, **27** (15): 2103-2111.
- Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, **26** (7): 971-985.
- Mote, P. W., Hamlet, A. F., Clark, M. P., Lettenmaier, D. P., 2005. Declining mountain snowpack in western North America. **Bulletin of the American meteorological Society**, **86** (1): 39-50.
- Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., Dörflinger, G., 2018. Streamflow and Hydrological Drought Trend Analysis and Forecasting in Cyprus. **Water resources management**, **32** (5): 1759-1776.
- Nagarajan, R., 2009. Satellite Remote Sensing, 205-264 *In: Drought Assessment*. Springer ve.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited. **Water resources management**, **23** (5): 881-897.
- Nedealcov, M., Răileanu, V., Sîrbu, R., Cojocari, R., 2015. The use of standardized indicators (SPI and SPEI) in predicting droughts over the Republic of Moldova territory. **Present Environment and Sustainable Development**, **9** (2): 149-158.

- Ntale, H. K., Gan, T. Y., 2003. Drought indices and their application to East Africa. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, 23 (11): 1335-1357.
- Okkonen, J., Kløve, B., 2010. A conceptual and statistical approach for the analysis of climate impact on ground water table fluctuation patterns in cold conditions. **Journal of Hydrology**, 388 (1-2): 1-12.
- Okkonen, J., Kløve, B., 2011. A sequential modelling approach to assess groundwater–surface water resources in a snow dominated region of Finland. **Journal of Hydrology**, 411 (1): 91-107.
- Pai, D. S., Sridhar, L., Guhathakurta, P., Hatwar, H. R., 2011. District-wide drought climatology of the southwest monsoon season over India based on standardized precipitation index (SPI). **Natural Hazards**, 59 (3): 1797-1813.
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought, US Department of Commerce, Weather Bureau
- Pandey, R., Dash, B., Mishra, S., Singh, R., 2008. Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India). **Hydrological Processes: An International Journal**, 22 (12): 1895-1907.
- Parkinson, C., Rothrock, D., Scambos, T. (2000). Climate Change in the Arctic and Antarctic: The Latest Observational Evidence on Changes in Sea Ice and Ice Shelves. *US Global Change Research Program Seminar Series*, 2000.
- Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., Hanson, C. (2007). Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC, Cambridge University Press
- Partal, T., Kahya, E., 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. **Hydrological Processes: An International Journal**, 20 (9): 2011-2026.
- Pathak, A. A., Dodamani, B. M., 2019. Trend Analysis of Groundwater Levels and Assessment of Regional Groundwater Drought: Ghataprabha River Basin, India. **Natural Resources Research**, 28 (3): 631-643.

- Pathak, A. A., Dodamani, B. M., 2020. Trend analysis of rainfall, rainy days and drought: a case study of Ghataprabha River Basin, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, 6 (3): 1357-1372.
- Paulo, A., Pereira, L., Matias, P., 2003. Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the Standardised Precipitation Index, 55-78 *In: Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Springer ve.
- Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change- point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)**, 28 (2): 126-135.
- Rahman, A. T. M. S., Jahan, C. S., Mazumder, Q. H., Kamruzzaman, M., Hosono, T., 2017. Drought analysis and its implication in sustainable water resource management in Barind area, Bangladesh. **Journal of the Geological Society of India**, 89 (1): 47-56.
- Rahman, M. R., Lateh, H., 2016. Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analysing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. **Environmental Earth Sciences**, 75 (12): 1026.
- Schwert, G. W., 2002. Tests for unit roots: A Monte Carlo investigation. **Journal of Business & Economic Statistics**, 20 (1): 5-17.
- Scibek, J., Allen, D. M., Cannon, A. J., Whitfield, P. H., 2007. Groundwater-surface water interaction under scenarios of climate change using a high-resolution transient groundwater model. **Journal of Hydrology**, 333 (2): 165-181.
- Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M. (2010). Ekonometrik zaman serileri analizi: EViews uygulamalı, Nobel Yayın Dağıtım
- Shah, R., Bharadiya, N., Manekar, V., 2015. Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat. **Aquatic Procedia**, 4: 1243-1249.
- Shahid, S., Hazarika, M. K., 2010. Groundwater Drought in the Northwestern Districts of Bangladesh. **Water resources management**, 24 (10): 1989-2006.
- Shukla, S., Wood, A. W., 2008. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. **Geophysical Research Letters**, 35 (2).

- Simmonds, I., Hope, P., 1997. Persistence characteristics of Australian rainfall anomalies. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, **17** (6): 597-613.
- Singh, P., Kumar, N., 1997. Impact assessment of climate change on the hydrological response of a snow and glacier melt runoff dominated Himalayan river. **Journal of Hydrology**, **193** (1): 316-350.
- Sirdas, S., Sen, Z., 2003. Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, **48** (5): 809-820.
- Sırdaş, S. Ş., Zekai, 2003. Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey. **Hydrological Sciences Journal**, **48** (5): 809-820.
- Sneyers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observations, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WMO Technical Note 143.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. (2007). Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. . Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- Sonmez, F. K., Komuscu, A. U., Erkan, A., Turgu, E., 2005. An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardized Precipitation Index. **Natural Hazards**, **35** (2): 243-264.
- Surendran, U., Kumar, V., Ramasubramoniam, S., Raja, P., 2017. Development of Drought Indices for Semi-Arid Region Using Drought Indices Calculator (DrinC) – A Case Study from Madurai District, a Semi-Arid Region in India. **Water resources management**, **31** (11): 3593-3605.
- Şahin, S. 2013. Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye'deki Su Kaynaklarına Etkileri,
- Şen, Z., 2012. Innovative trend analysis methodology. **Journal of Hydrologic Engineering**, **17** (9): 1042-1046.
- Tabrizi, A. A., Khalili, D., Kamgar-Haghighi, A. A., Zand-Parsa, S., 2010. Utilization of time-based meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts. **Water resources management**, **24** (15): 4287-4306.

- Taylor, R., Tindimugaya, C., 2012. The impacts of climate change and rapid development on weathered crystalline rock aquifer systems in the humid tropics of sub-Saharan Africa: Evidence from south-western Uganda. **Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations**: 17-32.
- Thom, H. C., 1958. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, **86** (4): 117-122.
- Thom, H. C. S. (1966). Some methods of climatological analysis.
- Thomas, T., Jaiswal, R. K., Nayak, P. C., Ghosh, N. C., 2015. Comprehensive evaluation of the changing drought characteristics in Bundelkhand region of Central India. **Meteorology and Atmospheric Physics**, **127** (2): 163-182.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G., 2012. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. **Science of The Total Environment**, **440**: 33-41.
- Tirivarombo, S., Osupile, D., Eliasson, P., 2018. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI). **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, **106**: 1-10.
- Topçuoğlu, K., Pamuk Mengü, G., Anaç, S., 2008. Ege Bölgesi meteorolojik kuraklık analizi. **Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyu ve Kuraklık Konferansı**, **1**: 11-12.
- Tosunoğlu, F., 2017. Trend analysis of daily maximum rainfall series in Çoruh Basin, Turkey. **Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **7** (1): 195-205.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). **Water resources management**, **21** (5): 821-833.
- Tsakiris, G., Vangelis, H., 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. **European water**, **9** (10): 3-11.
- Turkes, M., 2008. What is global climate change? Basic concepts, causes, observed and predicted changes. **Climate change and environment**, **1** (1): 26-37.

- Turkes, M., 2014. Drought and Desertification events of Climate Change and Its Significance in Turkey 2013-2014 (?) Of drought Synoptic Climatological / Meteorological and Atmospheric Connections ". **Hydropolitic Academy Climate Change and Drought Studies, Ankara: 1-12.**
- Turkes, M.,Tatli, H., 2009. Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. **International Journal of Climatology, 29** (15): 2270-2282.
- Türkeş, M. 1990. Türkiye'de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, , Basılmamış Doktora tezi,İstanbul,
- Türkeş, M., 1994. Artan sera etkisinin Türkiye üzerindeki etkileri. **TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 321: 71.**
- Türkeş, M., 1997. Hava ve iklim kavramları üzerine. **TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 355: 36-37.**
- Türkeş, M., 1998. İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye’de çölleşmeye eğilimli alanlar. **DMİ/İTÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı: 45-57.**
- Türkeş, M., 2000. Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma. TC Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü: 187-205.
- Türkeş, M., 2001. Küresel iklimin korunması, iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi ve Türkiye. Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 61: 14-29.
- Türkeş, M., 2003. Küresel iklim değişikliği ve gelecekteki iklimimiz. 23 Mart Dünya Meteoroloji Günü Kutlaması Gelecekteki İklimimiz Paneli Bildiriler Kitabı: 12-37.
- Türkeş, M., 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. **İklim Değişikliği ve Çevre, 1** (1): 26-37.
- Türkeş, M., 2012. Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. **Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4** (2): 1-32.
- Türkeş, M., Sümer, U. M.,Çetiner, G., 2000. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE OLASI ETKİLERİ. **Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları.**

- UNEP/WMO (1995). United Nations Framework Convention on Climate Change. UNEP/WMO, Information Unit on Climate Change and Climate Change Secretariat, Geneva.
- Uslu, D. (2013). "Sera Etkisi." Retrieved 14.03.2020, 2020, from <https://denizuslu.wordpress.com/sera-etkisi-2/#jp-carousel-110>.
- Van Loon, A. F., Kumar, R., Mishra, V., 2017. Testing the use of standardised indices and GRACE satellite data to estimate the European 2015 groundwater drought in near-real time. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, **21** (4): 1947-1971.
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G., 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. **Journal of Arid Environments**, **88**: 130-140.
- Vazifehkhah, S., Kahya, E., 2018. Hydrological drought associations with extreme phases of the North Atlantic and Arctic Oscillations over Turkey and northern Iran. **International Journal of Climatology**, **38** (12): 4459-4475.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I., 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. **Journal of Climate**, **23** (7): 1696-1718.
- Vicuña, S., Leonardson, R., Hanemann, M., Dale, L., Dracup, J. A., 2008. Climate change impacts on high elevation hydropower generation in California's Sierra Nevada: a case study in the Upper American River. **Climatic Change**, **87** (1): 123-137.
- Von Neumann, J., 1941. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. **The Annals of Mathematical Statistics**, **12** (4): 367-395.
- Wambua, R. M., Mutua, B. M., Raude, J. M., 2014. Performance of standardized precipitation index (SPI) and effective drought index (EDI) in drought forecasting using artificial neural networks (ANNs) for upper Tana River basin, Kenya. **Internafional Journal of Engineering Research & Technology**, **3** (11): 547-556.

- Wang, Y., Chen, X., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., 2017. Flood/drought event identification using an effective indicator based on the correlations between multiple time scales of the Standardized Precipitation Index and river discharge. **Theoretical and Applied Climatology**, **128** (1): 159-168.
- Wilhite, D. A., 1996. A methodology for drought preparedness. **Natural Hazards**, **13** (3): 229-252.
- Wilhite, D. A., 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions.
- Wilhite, D. A., Buchanan-Smith, M., 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social context. **Drought and water crises: Science, technology, and management issues**: 3-29.
- Xu, K., Yang, D., Yang, H., Li, Z., Qin, Y., Shen, Y., 2015. Spatio-temporal variation of drought in China during 1961–2012: A climatic perspective. **Journal of Hydrology**, **526**: 253-264.
- Yildiz, O., 2014. Spatiotemporal analysis of historical droughts in the Central Anatolia, Turkey. **Gazi University Journal of Science**, **27** (4): 1177-1184.
- Yilmaz, A. G., Imteaz, M. A., 2011. Impact of climate change on runoff in the upper part of the Euphrates basin. **Hydrological Sciences Journal**, **56** (7): 1265-1279.
- Zarei, A. R., Moghimi, M. M., Mahmoudi, M. R., 2016. Parametric and Non-Parametric Trend of Drought in Arid and Semi-Arid Regions Using RDI Index. **Water resources management**, **30** (14): 5479-5500.
- Zhao, L., Lyu, A., Wu, J., Hayes, M., Tang, Z., He, B., Liu, J., Liu, M., 2014. Impact of meteorological drought on streamflow drought in Jinghe River Basin of China. **Chinese geographical science**, **24** (6): 694-705.

EKLER

EK 1. Test Sonuçları

Ek Tablo 1. Aylık Toplam Buharlaşıma ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları (%95 güven seviyesinde)

Buharlaşıma	ADF			KPSS			Von-Neuman		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç
Kastamonu	-3.737	-1.941	D	0.096	0.146	D	- 12.557	-4.178	H
Çankırı	-3.685	-1.942	D	0.032	0.146	D	-9.758	-1.262	H
Sivas	-3.581	-1.942	D	0.053	0.146	D	-9.496	-2.440	H
Kırıkkale	-3.081	-1.942	D	0.086	0.146	D	-8.436	0.593	H
Yozgat	-3.704	-1.942	D	0.053	0.146	D	-9.334	-1.205	H
Kayseri	-3.492	-1.942	D	0.213	0.146	BK	- 10.887	-2.610	H
Bafra	-2.957	-1.942	D	0.139	0.146	D	- 10.442	-0.239	H
İlgaz	-2.911	-1.942	D	0.153	0.146	D	-7.479	1.074	H
Zara	-3.063	-1.942	D	0.112	0.146	D	-7.459	0.003	H
Boğazlıyan	-2.686	-1.942	D	0.170	0.146	BK	-7.659	0.972	H

Ek Tablo 1’de D: Durağan, BK: Birim Kök ve H: Homojen kavramlarını ifade etmektedir.

Ek Tablo 2. Ortalama Yağış ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

Yağış		ADF			KPSS			Von-Neuman		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç	
Kastamonu	-10.33	-1.94	D	0.089	0.14	D	-3.946	-15.232	H	
Çankırı	-10.197	-1.94	D	0.055	0.14	D	-4.069	-14.958	H	
Sivas	-9.432	-1.94	D	0.032	0.14	D	-5.461	-14.284	H	
Kırıkkale	-10.441	-1.94	D	0.041	0.14	D	-4.307	-14.218	H	
Yozgat	-9.105	-1.94	D	0.114	0.14	D	-6.410	-14.151	H	
Kırşehir	-10.502	-1.94	D	0.035	0.14	D	-3.585	-13.953	H	
Gemerek	-9.777	-1.94	D	0.079	0.14	D	-4.590	-12.915	H	
Nevşehir	-9.551	-1.94	D	0.087	0.14	D	-4.574	-13.494	H	
Kayseri	-9.436	-1.94	D	0.065	0.14	D	-5.686	-13.887	H	
Bafra	-8.649	-1.94	D	0.024	0.14	D	-4.451	-10.710	H	
Ilgaz	-8.565	-1.94	D	0.290	0.14	BK	-6.288	-9.341	H	
Tosya	-8.811	-1.94	D	0.049	0.14	D	-3.760	-10.769	H	
Osmancık	-8.761	-1.94	D	0.024	0.14	D	-2.903	-6.991	H	
Zara	-8.639	-1.94	D	0.046	0.14	D	-5.818	-10.072	H	
Keskin	-8.917	-1.94	D	0.036	0.14	D	-3.057	-6.699	H	
Çiçekdağı	-9.006	-1.94	D	0.060	0.14	D	-4.427	-8.740	H	
Kaman	-8.807	-1.94	D	0.064	0.14	D	-5.661	-9.732	H	
Boğazlıyan	-8.665	-1.94	D	0.109	0.14	D	-5.003	-9.175	H	
Ürgüp	-9.069	-1.94	D	0.062	0.14	D	-3.629	-8.420	H	
Develi	-8.789	-1.94	D	0.051	0.14	D	-5.973	-9.230	H	

Ek Tablo 3. Maksimum sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

Mak. Sıc.		ADF			KPSS			Von-Neuman		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç	
Kastamonu	-2.720	-1.941	D	0.015	0.146	D	-18.530	-15.369	H	
Çankırı	-2.679	-1.941	D	0.012	0.146	D	-19.325	-15.369	H	
Sivas	-2.872	-1.941	D	0.018	0.146	D	-19.431	-15.369	H	
Kırıkkale	-2.589	-1.941	D	0.014	0.146	D	-19.000	-15.027	H	
Yozgat	-2.751	-1.941	D	0.011	0.146	D	-19.177	-15.369	H	
Kırşehir	-2.442	-1.941	D	0.013	0.146	D	-19.225	-15.369	H	
Gemerek	-2.704	-1.941	D	0.012	0.146	D	-19.340	-15.369	H	
Nevşehir	-2.543	-1.941	D	0.022	0.146	D	-19.020	-15.369	H	
Kayseri	-2.534	-1.941	D	0.012	0.146	D	-19.022	-15.369	H	
Bafra	-2.159	-1.941	D	0.184	0.146	BK	-15.729	-15.369	H	
Ilgaz	-2.333	-1.941	D	0.015	0.146	D	-17.782	-10.072	H	
Tosya	-2.736	-1.941	D	0.026	0.146	D	-19.262	-15.369	H	
Osmancık	-2.346	-1.941	D	0.021	0.146	D	-17.762	-11.124	H	
Zara	-2.917	-1.941	D	0.013	0.146	D	-19.385	-15.369	H	
Keskin	-2.563	-1.941	D	0.033	0.146	D	-18.279	-11.364	H	
Çiçekdağı	-2.682	-1.941	D	0.018	0.146	D	-18.766	-14.151	H	
Kaman	-2.681	-1.941	D	0.030	0.146	D	-18.991	-14.755	H	
Boğazlıyan	-2.630	-1.941	D	0.063	0.146	D	-18.846	-15.369	H	
Ürgüp	-2.523	-1.941	D	0.021	0.146	D	-18.666	-14.418	H	
Develi	-2.536	-1.941	D	0.013	0.146	D	-19.267	-15.369	H	

Ek Tablo 4. Minimum sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

Min. Sıc.		ADF			KPSS			Von-Neumann		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç	
Kastamonu	-7.997	-1.941	D	0.044	0.146	D	-18.896	-15.369	H	
Çankırı	-8.16	-1.941	D	0.042	0.146	D	-18.816	-15.369	H	
Sivas	-8.03	-1.941	D	0.036	0.146	D	-18.517	-15.369	H	
Kırıkkale	-8.301	-1.941	D	0.015	0.146	D	-18.751	-15.027	H	
Yozgat	-7.956	-1.941	D	0.027	0.146	D	-18.788	-15.369	H	
Kırşehir	-8.449	-1.941	D	0.021	0.146	D	-18.662	-15.369	H	
Gemerek	-7.847	-1.941	D	0.020	0.146	D	-18.197	-15.369	H	
Nevşehir	-8.257	-1.941	D	0.086	0.146	D	-18.632	-15.369	H	
Kayseri	-7.703	-1.941	D	0.026	0.146	D	-18.615	-15.369	H	
Bafra	-6.185	-1.941	D	0.014	0.146	D	-19.125	-15.369	H	
Ilgaz	-7.492	-1.941	D	0.062	0.146	D	-17.326	-10.072	H	
Tosya	-9.136	-1.941	D	0.074	0.146	D	-17.894	-15.369	H	
Osmancık	-7.355	-1.941	D	0.027	0.146	D	-17.989	-11.124	H	
Zara	-7.682	-1.941	D	0.020	0.146	D	-18.205	-15.369	H	
Keskin	-7.644	-1.941	D	0.027	0.146	D	-17.52	-9.958	H	
Çiçekdağı	-8.381	-1.941	D	0.047	0.146	D	-18.412	-13.755	H	
Kaman	-8.353	-1.941	D	0.030	0.146	D	-18.393	-14.755	H	
Boğazlıyan	-7.787	-1.941	D	0.067	0.146	D	-17.654	-15.369	H	
Ürgüp	-7.883	-1.941	D	0.171	0.146	BK	-17.82	-13.755	H	
Develi	-8.279	-1.941	D	0.042	0.146	D	-18.775	-15.369	H	

Ek Tablo 5. Ortalama sıcaklık ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

Ort. Sıcaklık		ADF			KPSS			Von-Neumann		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç	
Kastamonu	-4.130	-1.942	D	1.330	0.146	BK	-30.514	-78.288	H	
Çankırı	-4.206	-1.941	D	0.009	0.146	D	-20.101	-15.369	H	
Sivas	-4.951	-1.941	D	0.022	0.146	D	-19.846	-15.369	H	
Kırıkkale	-4.064	-1.941	D	0.011	0.146	D	-19.814	-15.095	H	
Yozgat	-4.725	-1.941	D	0.015	0.146	D	-19.804	-15.369	H	
Kırşehir	-4.223	-1.941	D	0.019	0.146	D	-19.939	-15.369	H	
Gemerek	-4.866	-1.941	D	0.013	0.146	D	-19.879	-15.369	H	
Nevşehir	-4.400	-1.941	D	0.028	0.146	D	-19.653	-15.369	H	
Kayseri	-4.544	-1.941	D	0.014	0.146	D	-19.879	-15.369	H	
Bafra	-2.959	-1.941	D	0.053	0.146	D	-19.872	-15.369	H	
İlgaz	-3.983	-1.941	D	0.014	0.146	D	-18.448	-10.072	H	
Tosya	-4.131	-1.941	D	0.019	0.146	D	-19.863	-15.369	H	
Osmancık	-3.472	-1.941	D	0.016	0.146	D	-18.954	-11.485	H	
Zara	-5.173	-1.941	D	0.017	0.146	D	-19.717	-15.369	H	
Keskin	-4.100	-1.941	D	0.036	0.146	D	-18.259	-9.958	H	
Çiçekdağı	-4.156	-1.941	D	0.021	0.146	D	-19.38	-13.755	H	
Kaman	-4.587	-1.941	D	0.027	0.146	D	-19.391	-14.822	H	
Boğazlıyan	-4.758	-1.941	D	0.056	0.146	D	-19.748	-15.369	H	
Ürgüp	-4.418	-1.941	D	0.061	0.146	D	-19.3	-13.755	H	
Develi	-4.454	-1.941	D	0.015	0.146	D	-19.742	-15.369	H	

Ek Tablo 6. Ortalama Rüzgâr Hızı ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

Rüzgâr Hızı		ADF			KPSS			Von-Neumann		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç	
Kastamonu	-1.865	-1.941	BK	2.887	0.146	BK	-15.663	-15.369	H	
Çankırı	-2.643	-1.941	D	4.451	0.146	BK	-17.093	-15.369	H	
Sivas	-2.601	-1.941	D	0.642	0.146	BK	-15.928	-15.369	H	
Kırıkkale	-2.931	-1.941	D	2.232	0.146	BK	-17.899	-15.095	H	
Yozgat	-2.601	-1.941	D	0.229	0.146	BK	-15.337	-15.369	H	
Kırşehir	-2.81	-1.941	D	1.190	0.146	BK	-15.453	-15.369	H	
Gemerek	-3.078	-1.941	D	0.493	0.146	BK	-16.511	-15.301	H	
Nevşehir	-2.793	-1.941	D	0.567	0.146	BK	-13.537	-15.369	H	
Kayseri	-2.944	-1.941	D	0.264	0.146	BK	-13.749	-15.369	H	
Bafra	-3.496	-1.941	D	0.612	0.146	BK	-15.723	-15.369	H	
İlgaz	-2.15	-1.941	D	1.354	0.146	BK	-15.015	-10.072	H	
Tosya	-2.808	-1.941	D	0.686	0.146	BK	-16.637	-15.369	H	
Osmancık	-2.479	-1.941	D	6.676	0.146	BK	-20.864	-10.710	H	
Zara	-2.641	-1.941	D	0.369	0.146	BK	-14.231	-15.369	H	
Keskin	-2.706	-1.941	D	0.202	0.146	BK	-10.630	-9.958	H	
Çiçekdağı	-2.608	-1.941	D	1.286	0.146	BK	-14.884	-13.690	H	
Kaman	-3.044	-1.941	D	3.636	0.146	BK	-13.092	-14.822	H	
Boğazlıyan	-3.205	-1.941	D	1.497	0.146	BK	-11.223	-6.893	H	
Ürgüp	-8.598	-1.941	D	0.060	0.146	D	-2.045	-13.755	H	
Develi	-1.748	-1.941	BK	6.369	0.146	BK	-22.206	-15.369	H	

Ek Tablo 7. Ortalama Akım ADF-KPSS ve Von-Neumann testi sonuçları

AGİ		ADF		KPSS			Von-Neuman		
İstasyon	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç
15-108	-20.57	-1.941	D	0.141	0.146	D	-0.453	-8.58	H
15-182	-5.411	-1.942	D	0.429	0.146	BK	-12.156	-2.046	H
15-190	-4.524	-1.942	D	0.319	0.146	BK	-7.095	0.846	H
15-208	-3.421	-1.942	D	0.285	0.146	BK	-11.881	0.188	H
15-242	-3.704	-1.942	D	0.073	0.146	D	-5.729	1.612	H
15-01	-16.823	-1.941	D	0.041	0.146	D	-3.75	-13.755	H
15-17	-8.587	-1.941	D	1.435	0.146	BK	-14.726	-13.755	H
15-32	-10.48	-1.942	D	0.035	0.146	D	-5.073	-3.289	H
15-03	-17.365	-1.941	D	0.033	0.146	D	-0.713	-9.396	H
15-67	-4.557	-1.942	D	0.283	0.146	BK	-8.138	0.958	H
15-68	-7.129	-1.942	D	0.266	0.146	BK	-11.681	-3.069	H
15-70	-7.129	-1.942	D	0.266	0.146	BK	-11.681	-3.069	H
15-152	-9.871	-1.941	D	0.231	0.146	BK	-10.585	-5.763	H
15-169	-5.972	-1.942	D	0.439	0.146	BK	-10.719	-1.319	H

Ek Tablo 8. Aylık Yeraltı Suyu Seviye Ölçümleri ADF-KPSS ve Von-Neumann Testi Sonuçları

YAS		ADF		KPSS			VN		
İstasyon adı	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Test ist.	C _{value}	Sonuç	Z	q _{cr}	Sonuç
59666	-3.599	-1.94	D	0.131	0.14	D	-7.71	1.447	HD
59667	-1.359	-1.94	BK	1.858	0.14	BK	-10.67	1.447	HD
59668	-1.269	-1.94	BK	1.42	0.14	BK	-10.03	1.447	HD
60078	-0.127	-1.94	BK	1.244	0.14	BK	-11.19	1.479	HD
59669	0.2	-1.94	BK	0.725	0.14	BK	-9.18	1.447	HD
55350	0.656	-1.94	BK	0.342	0.14	BK	-9.87	1.57	HD
55362	-0.584	-1.94	BK	0.532	0.14	BK	-8.56	1.57	HD
60637	0.444	-1.94	BK	0.054	0.14	D	-9.01	1.566	HD
54157	-0.239	-1.94	BK	1.464	0.14	BK	-11.70	0.958	HD
54158	2.596	-1.94	BK	10.946	0.14	BK	-22.60	-11.1	HD
54159	0.23	-1.94	BK	2.065	0.14	BK	-16.42	-1.733	H
54160	-1.606	-1.94	BK	0.272	0.14	BK	-11.52	-1.888	H
54161	-0.744	-1.94	BK	1.086	0.14	BK	-16.43	-3.178	HD
54162	-1.496	-1.94	BK	2.083	0.14	BK	-18.47	-6.555	HD
54163	-0.853	-1.94	BK	0.371	0.14	BK	-11.16	1.122	HD
60638	0.653	-1.94	BK	0.48	0.14	BK	-9.76	1.566	HD
61830	-0.326	-1.94	BK	0.194	0.14	BK	-7.14	1.612	HD
49739	3.173	-1.94	BK	0.426	0.14	BK	-9.26	1.612	HD
49734	-0.179	-1.94	BK	1.26	0.14	BK	-11.03	1.403	HD
19076	0.26	-1.94	BK	3.079	0.14	BK	-12.69	1.157	HD
53215	0.025	-1.94	BK	1.675	0.14	BK	-10.03	1.46	HD
56151	1.005	-1.94	BK	1.763	0.14	BK	-10.92	1.473	HD
57515	-0.569	-1.94	BK	1.485	0.14	BK	-11.12	1.099	HD

Ek Tablo 9. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık toplam buharlaşma serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine(İNVŞEN) göre eğilim sonuçları

Buharlaşma (E)			İnovatif Şen			
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	-0.103	113.62	0.002	-0.004	0.004	Azalan
Çankırı	0.166	125.084	0.004	-0.006	0.006	Artan
Sivas	0.011	135.026	0.004	-0.007	0.007	Artan
Kırıkkale	-0.432	200.475	0.013	-0.022	0.022	Azalan
Yozgat	-0.128	144.759	0.006	-0.009	0.009	Azalan
Kayseri	0.155	134.811	0.004	-0.007	0.007	Artan
Bafra	-0.05	105.496	0.002	-0.003	0.003	Azalan
Ilgaz	0.16	122.361	0.009	-0.014	0.014	Artan
Zara	0.045	160.962	0.005	-0.008	0.008	Artan
Boğazlıyan	0.059	141.436	0.009	-0.015	0.015	Artan

Ek Tablo 10. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama yağış serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

Yağış (P)			İnovatif Şen			
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	0.017	36.175	0.001	-0.002	0.002	-
Çankırı	0.013	31.15	0.000	-0.001	0.001	Artan
Sivas	0.004	35.663	0.000	-0.001	0.001	Artan
Kırıkkale	0.004	31.723	0.000	-0.001	0.001	Artan
Yozgat	0.001	48.982	0.000	-0.001	0.001	Artan
Kırşehir	-0.002	33.094	0.001	-0.001	0.001	-
Gemerek	0.003	32.402	0.000	-0.001	0.001	Artan
Nevşehir	-0.007	35.892	0.000	-0.001	0.001	-
Kayseri	0.001	32.136	0.000	-0.001	0.001	Artan
Bafra	0.000	63.98	0.001	-0.002	0.002	Azalan
Ilgaz	-0.030	48.566	0.001	-0.002	0.002	Azalan
Tosya	0.002	37.543	0.000	-0.001	0.001	Artan
Osmancık	0.016	28.203	0.000	-0.001	0.001	Artan
Zara	0.005	44.19	0.001	-0.001	0.001	Artan
Keskin	0.004	36.226	0.001	-0.001	0.001	Artan
Çiçekdağı	0.010	27.296	0.001	-0.001	0.001	Artan
Kaman	0.009	36.196	0.001	-0.001	0.001	Artan
Boğazlıyan	0.004	30.569	0.001	-0.001	0.001	Artan
Ürgüp	0.010	29.537	0.001	-0.001	0.001	Artan
Develi	0.010	29.537	0.001	-0.001	0.001	Artan

Ek Tablo 11. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık maksimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

Mak. Sıc		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	0.005	23.182	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çankırı	0.004	24.254	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Sivas	0.005	21.646	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırıkkale	0.004	24.776	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Yozgat	0.006	20.72	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırşehir	0.005	23.64	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Gemerek	0.004	23.289	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Nevşehir	0.006	22.545	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kayseri	0.003	24.669	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Bafra	0.001	26.081	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
İlgaz	0.007	23.045	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Tosya	0.006	22.249	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Osmancık	0.005	26.25	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Zara	0.004	21.231	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Keskin	0.003	22.571	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çiçekdağı	0.005	23.897	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kaman	0.005	21.678	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Boğazlıyan	0.004	23.882	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ürgüp	0.006	23.806	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Develi	0.005	23.304	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan

Ek Tablo 12. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık minimum sıcaklık serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

Min. Sıc.		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	0.003	-2.728	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çankırı	0.003	-2.554	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Sivas	0.005	-5.151	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırıkkale	0.004	-0.655	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Yozgat	0.006	-4.198	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırşehir	0.003	-1.917	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Gemerek	0.004	-5.795	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Nevşehir	0.005	-3.511	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kayseri	0.011	-7.475	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Bafra	0.003	4.33	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ilgaz	0.0001	-1.991	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Tosya	0.0001	0.39	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Osmancık	0.003	1.05	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Zara	0.002	-6.021	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Keskin	0.005	-1.454	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çiçekdağı	0.004	-1.253	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kaman	0.004	-2.708	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Boğazlıyan	0.005	-6.619	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ürgüp	0.0001	-4.267	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Develi	0.006	-3.306	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan

Ort. Sic.		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	0.003	9.041	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çankırı	0.003	10.461	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Sivas	0.004	8.136	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırıkkale	0.004	11.473	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Yozgat	0.004	8.084	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kırşehir	0.003	10.625	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Gemerek	0.004	8.822	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Nevşehir	0.004	9.594	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kayseri	0.005	9.22	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Bafra	0.003	13.262	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ilgaz	0.002	9.912	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Tosya	0.003	10.588	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Osmancık	0.002	13.183	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Zara	0.003	8.03	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Keskin	0.003	10.258	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Çiçekdağı	0.005	10.659	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Kaman	0.004	9.332	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Boğazlıyan	0.003	8.66	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ürgüp	0.004	9.404	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Develi	0.005	9.814	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan

Ek Tablo 13. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama Rüzgâr hızı serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

Rüzgâr Hızı		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kastamonu	0.0001	1.392	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Çankırı	0.000	0.965	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Sivas	-0.001	1.515	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Kırıkkale	0.002	1.443	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Yozgat	-0.002	2.795	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Kırşehir	0.000	2.539	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Gemerek	-0.002	2.478	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Nevşehir	-0.002	2.654	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Kayseri	-0.001	2.065	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Bafra	-0.001	2.236	0.0001	-0.0001	0.0001	-
İlgaz	-0.002	2.263	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Tosya	0.001	1.412	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Osmancık	-0.004	1.995	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Zara	0.000	1.886	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Keskin	-0.001	2.725	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Çiçekdağı	-0.001	3.201	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Kaman	-0.001	3.041	0.0001	-0.0001	0.0001	-
Boğazlıyan	0.000	1.774	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Ürgüp	0.000	1.899	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan
Develi	0.003	1.218	0.0001	-0.0001	0.0001	Artan

Ek Tablo 14. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık ortalama Akım serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

Akım		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğim St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
15-01	-0.242	241.054	0.038	-0.062	0.062	-
15-03	-0.302	279.314	0.084	-0.137	0.137	-
15-08	0.055	5.208	0.001	-0.002	0.002	Artan
15-17	-0.036	40.846	0.002	-0.004	0.004	-
15-32	0.028	227.081	0.056	-0.092	0.092	Artan
15-35	-0.012	87.606	0.005	-0.009	0.009	-
15-38	-0.026	27.117	0	-0.001	0.001	-
15-39	-0.011	35.997	0.001	-0.002	0.002	-
15-67	-0.001	2.837	0.001	-0.002	0.002	Azalan
15-68	0.003	1.33	0.000017	0.00001	0.00001	Artan
15-70	-0.005	5.299	0.001	-0.001	0.001	-
15-108	-0.003	2.818	0.01	-0.017	0.017	-
15-152	0.013	2.482	0.0003	-0.00005	0.00005	-
15-169	0.005	1.999	0.000014	0.00001	0.00001	Artan
15-182	-0.005	1.689	0.001	-0.002	0.002	-
15-190	-0.003	2.438	0.0004	-0.019	0.019	-
15-208	0.00018	0.405	0.000012	0.00001	0.00001	-
15-242	-0.01	1.022	0.000016	-0.001	0.001	-

Ek Tablo 15. Kızılırmak havzasına ait istasyonların aylık yeraltı suyu seviye serisi için Yenilikçi Şen Eğilim Testine göre eğilim sonuçları

YAS		İnovatif Şen				
İstasyon adı	Eğim	St. Sapma	Eğimin St. Sapması	Alt Sınır	Üst Sınır	Trend
Kır-16988	0.125	15.222	0.009	-0.015	0.015	Artan
Kır-49739	0.147	6.229	0.006	-0.01	0.01	Artan
Kır-49734	0.007	35.516	0.002	-0.003	0.003	Artan
Kır-19076	0.002	12.438	0.00002	-0.001	0.001	Artan
Kır-53215	0.036	14.645	0.00001	-0.001	0.001	Artan
Kır-56151	0.034	53.81	0.00001	-0.001	0.001	Artan
Kır-57515	0.028	8.044	0.001	-0.002	0.002	Artan
Bğz-59666	0.033	8.862	0.005	-0.008	0.008	Artan
Bğz-59667	-0.004	5.031	0.001	-0.001	0.001	-
Bğz-59668	0.003	8.894	0.001	-0.001	0.001	Artan
Bğz-60078	0.137	26.761	0.007	-0.011	0.011	Artan
Dev-59669	0.072	75.038	0.002	-0.003	0.003	Artan
Dev-55350	0.105	42.463	0.001	-0.001	0.001	Artan
Dev-55362	-0.004	3.101	0.00002	-0.0001	0.0001	-
Dev-60637	0.053	54.562	0.001	-0.001	0.001	Artan
Dev-54157A	0.077	14.266	0.00002	-0.001	0.001	Artan
Dev-54157B	0.004	10.364	0.00001	-0.001	0.001	Artan
Dev-54158	0.065	15.919	0.00003	-0.001	0.001	Artan
Dev-54159A	0.005	28.621	0.00005	-0.001	0.001	Artan
Dev-54159B	0.013	31.494	0.00002	-0.001	0.001	Artan
Dev-54160	0.011	-0.517	0.00002	-0.001	0.001	Artan
Dev-54161	0.012	0.465	0.00001	-0.001	0.001	Artan
Dev-54162	0.01	4.429	0.00008	-0.001	0.001	Artan
Dev-54163A	-0.012	2.815	0.00002	-0.001	0.001	-
Dev-54163B	-0.002	1.461	0.00001	-0.0001	0.0001	-
Dev-60638	0.004	3.276	0.001	-0.0001	0.0001	Artan
Dev-61830	0.001	1.07	0.001	-0.0001	0.0001	Artan

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Necmiye MİNARECİOĞLU
Uyruğu : Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2008
Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Şeker Lisesi, Kayseri	2000

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2009-Halen	Ahi Evran Üniversitesi	11 Yıl
2007-2009	Yapı Mimarlık Mühendislik	2 Yıl
2005-2007	Turim Mimarlık	2 Yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Citakoglu, H., Minarecioglu, N. Trend analysis and change point determination for hydro-meteorological and groundwater data of Kizilirmak basin. Theor Appl Climatol (2021). <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03696-9>.